

# Dubbel

---

## Taschenbuch für den Maschinenbau

14., vollständig neubearbeitete und erweiterte Auflage

Herausgegeben von

W. Beitz und K.-H. Küttner

Mit 2403 Bildern und 454 Tabellen

---

Springer - Verlag Berlin Heidelberg New York 1981

# Inhaltsverzeichnis

<b>Hinweise zur Benutzung</b> . . . . .	XXXVI
<b>A Mathematik</b>	
<b>1 Mengen, Funktionen und Boolesche Algebra</b> . . . . .	2
1.1 Mengen . . . . .	2
1.1.1 Mengenbegriff 2. – 1.1.2 Mengenrelationen 3. – 1.1.3 Mengenverknüpfungen 3. – 1.1.4 Das kartesische oder Kreuzprodukt 3.	
1.2 Funktionen . . . . .	3
1.3 Boolesche Algebra . . . . .	4
1.3.1 Grundbegriffe 4. – 1.3.2 Zweielementige Boolesche Algebra 4.	
<b>2 Zahlen</b> . . . . .	6
2.1 Reelle Zahlen . . . . .	6
2.1.1 Einführung 6. – 2.1.2 Grundgesetze der reellen Zahlen 6. – 2.1.3 Der absolute Betrag 6. – 2.1.4 Mittelwerte und Ungleichungen 6. – 2.1.5 Potenzen, Wurzeln und Logarithmen 7. – 2.1.6 Zahlendarstellung in Stellenwertsystemen 7. – 2.1.7 Endliche Folgen und Reihen, Binomischer Lehrsatz 7. – 2.1.8 Unendliche reelle Zahlenfolgen und Zahlenreihen 8.	
2.2 Komplexe Zahlen . . . . .	9
2.2.1 Komplexe Zahlen und ihre geometrische Darstellung 9. – 2.2.2 Addition und Multiplikation 9. – 2.2.3 Darstellung in Polarkoordinaten, Absoluter Betrag 10. – 2.2.4 Potenzen und Wurzeln 10.	
2.3 Gleichungen . . . . .	10
2.3.1 Algebraische Gleichungen 10. – 2.3.2 Polynome 11. – 2.3.3 Transzendente Gleichungen 11.	
<b>3 Lineare Algebra</b> . . . . .	12
3.1 Vektoralgebra . . . . .	12
3.1.1 Vektoren und ihre Eigenschaften 12. – 3.1.2 Lineare Abhängigkeit und Basis 13. – 3.1.3 Koordinatendarstellung von Vektoren 13. – 3.1.4 Inneres und skalares Produkt 14. – 3.1.5 Äußeres oder vektorielles Produkt 14. – 3.1.6 Spatprodukt 14. – 3.1.7 Entwicklungssatz und mehrfache Produkte 14.	
3.2 Der reelle $n$ -dimensionale Vektorraum $\mathbb{R}^n$ . . . . .	15
3.2.1 Skalares oder inneres Produkt, Der reelle Euklidische Raum 15. – 3.2.2 Determinanten 15. – 3.2.3 Cramer-Regel 17. – 3.2.4 Matrizen und lineare Abbildungen 17. – 3.2.5 Lineare Gleichungssysteme 19.	
<b>4 Geometrie</b> . . . . .	20
4.1 Planimetrie . . . . .	20
4.1.1 Punkt, Gerade, Strahl, Strecke, Streckenzug 20. – 4.1.2 Orientierung einer Ebene 20. – 4.1.3 Winkel 20. – 4.1.4 Strahlensätze 21. – 4.1.5 Ähnlichkeit 21. – 4.1.6 Teilung von Strecken 21. – 4.1.7 Pythagoreische Sätze 22.	
4.2 Trigonometrie . . . . .	22
4.2.1 Goniometrie 22. – 4.2.2 Berechnung von Dreiecken und Flächen 26.	
4.3 Stereometrie . . . . .	27
4.3.1 Punkt, Gerade und Ebene im Raum 27. – 4.3.2 Körper, Volumenmessung 27. – 4.3.3 Polyeder 29. – 4.3.4 Oberfläche und Volumen von Polyedern 29. – 4.3.5 Oberfläche und Volumen von einfachen Rotationskörpern 29. – 4.3.6 Guldinsche Regeln 29.	
4.4 Darstellende Geometrie . . . . .	29
4.4.1 Vergleich der Projektionsarten 32. – 4.4.2 Orthogonale Zweitafelprojektion 32. – 4.4.3 Axonometrische Projektionen 34.	

<b>5</b>	<b>Analytische Geometrie</b> . . . . .	<b>36</b>
5.1	Analytische Geometrie der Ebene . . . . .	36
	5.1.1 Das kartesische Koordinatensystem 36. – 5.1.2 Strecke 36. – 5.1.3 Dreieck 36. – 5.1.4 Winkel 37. – 5.1.5 Gerade 37. – 5.1.6 Koordinatentransformationen 38. – 5.1.7 Kegelschnitte 38. – 5.1.8 Allgemeine Kegelschnittgleichung 40.	
5.2	Analytische Geometrie des Raumes . . . . .	41
	5.2.1 Das kartesische Koordinatensystem 41. – 5.2.2 Strecke 42. – 5.2.3 Dreieck und Tetraeder 42. – 5.2.4 Gerade 42. – 5.2.5 Ebene 43. – 5.2.6 Koordinatentransformationen 44.	
<b>6</b>	<b>Differential- und Integralrechnung</b> . . . . .	<b>44</b>
6.1	Reellwertige Funktionen einer reellen Variablen . . . . .	44
	6.1.1 Grundbegriffe 44. – 6.1.2 Grundfunktionen 45. – 6.1.3 Einteilung der Funktionen 46. – 6.1.4 Grenzwert und Stetigkeit 46. – 6.1.5 Ableitung einer Funktion 47. – 6.1.6 Differentiale 48. – 6.1.7 Sätze über differenzierbare Funktionen 48. – 6.1.8 Monotonie, Konvexität und Extrema von differenzierbaren Funktionen 49. – 6.1.9 Grenzwertbestimmung durch Differenzieren. Regel von de l'Hospital 50. – 6.1.10 Das bestimmte Integral 51. – 6.1.11 Integralfunktion, Stammfunktion und Hauptsatz der Differential- und Integralrechnung 51. – 6.1.12 Das unbestimmte Integral 52. – 6.1.13 Integrationsmethoden 52. – 6.1.14 Integration rationaler Funktionen 52. – 6.1.15 Integration von irrationalen algebraischen und transzendenten Funktionen 53. – 6.1.16 Uneigentliche Integrale 53. – 6.1.17 Geometrische Anwendungen der Differential- und Integralrechnung 54. – 6.1.18 Unendliche Funktionenreihen 54.	
6.2	Reellwertige Funktionen mehrerer reeller Variablen . . . . .	59
	6.2.1 Grundbegriffe 59. – 6.2.2 Grenzwerte und Stetigkeit 59. – 6.2.3 Partielle Ableitungen 59. – 6.2.4 Integraldarstellung von Funktionen und Doppelintegrale 62. – 6.2.5 Flächen- und Raumintegrale 62.	
<b>7</b>	<b>Kurven und Flächen, Vektoranalysis</b> . . . . .	<b>64</b>
7.1	Kurven in der Ebene . . . . .	64
	7.1.1 Grundbegriffe 64. – 7.1.2 Tangenten und Normalen 65. – 7.1.3 Bogenlänge 66. – 7.1.4 Krümmung 66. – 7.1.5 Einhüllende einer Kurvenschar 67. – 7.1.6 Spezielle ebene Kurven 67. – 7.1.7 Kurvenintegrale 70.	
7.2	Kurven im Raum . . . . .	71
	7.2.1 Grundbegriffe 71. – 7.2.2 Tangente und Bogenlänge 72. – 7.2.3 Kurvenintegrale 72.	
7.3	Fläche . . . . .	73
	7.3.1 Grundbegriffe 73. – 7.3.2 Tangentialebene 73. – 7.3.3 Oberflächenintegrale 74.	
7.4	Vektoranalysis . . . . .	74
	7.4.1 Grundbegriffe 74. – 7.4.2 Der $\nabla$ (Nabla)-Operator 75. – 7.4.3 Integralsätze 75.	
<b>8</b>	<b>Differentialgleichungen</b> . . . . .	<b>76</b>
8.1	Gewöhnliche Differentialgleichungen . . . . .	76
	8.1.1 Grundbegriffe 76. – 8.1.2 Differentialgleichung 1. Ordnung 76. – 8.1.3 Differentialgleichungen $n$ -ter Ordnung 78. – 8.1.4 Lineare Differentialgleichungen 78. – 8.1.5 Lineare Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten 79. – 8.1.6 Systeme von linearen Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten 80. – 8.1.7 Randwertaufgabe 82. – 8.1.8 Eigenwertaufgabe 82.	
8.2	Partielle Differentialgleichungen . . . . .	83
	8.2.1 Lineare partielle Differentialgleichungen 2. Ordnung 83. – 8.2.2 Trennung der Veränderlichen 83. – 8.2.3 Anfangs- und Randbedingungen 83.	
<b>9</b>	<b>Auswertung von Beobachtungen und Messungen</b> . . . . .	<b>84</b>
9.1	Kombinatorik . . . . .	84
	9.1.1 Permutationen 84. – 9.1.2 Variationen 85. – 9.1.3 Kombinationen 85.	
9.2	Fehlerrechnung . . . . .	85
	9.2.1 Fehlerarten 85. – 9.2.2 Fehlerfortpflanzung bei systematischen Fehlern 86.	
9.3	Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate . . . . .	86
	9.3.1 Grundlagen 86. – 9.3.2 Ausgleich direkter Messungen gleicher Genauigkeit 86. – 9.3.3 Fehlerfortpflanzung bei zufälligen Fehlergrößen 87. – 9.3.4 Ausgleich direkter Messungen ungleicher Genauigkeit 87.	
9.4	Wahrscheinlichkeitsrechnung . . . . .	88
	9.4.1 Definitionen und Rechengesetze der Wahrscheinlichkeit 88. – 9.4.2 Zufallsvariable und Verteilungsfunktion 90. – 9.4.3 Parameter der Verteilungsfunktion 90. – 9.4.4 Einige spezielle Verteilungsfunktionen 91.	
9.5	Statistik . . . . .	94
	9.5.1 Häufigkeitsverteilung 94. – 9.5.2 Arithmetischer Mittelwert, Varianz und Standardabweichung 94. – 9.5.3 Regression und Korrelation 95.	
<b>10</b>	<b>Praktische Mathematik</b> . . . . .	<b>96</b>
10.1	Graphische Darstellung von Funktionen . . . . .	96
	10.1.1 Graph einer Funktion 96. – 10.1.2 Funktionsskalen 96. – 10.1.3 Funktionskurven in ebenen, rechtwinkligen Koordinatensystemen (Diagramme) 97.	

10.2	Einführung in die Nomographie . . . . .	98
	10.2.1 Nomogramme für zwei Veränderliche 98. – 10.2.2 Nomogramme für drei Veränderliche 98. – 10.2.3 Nomogramme für mehr als drei Veränderliche 100.	
10.3	Numerische Berechnung von Wurzeln nichtlinearer Gleichungen . . . . .	100
	10.3.1 Methode der schrittweisen Näherung (Iterationsverfahren) 101. – 10.3.2 Newtonsches Näherungsverfahren 101. – 10.3.3 Sekantenverfahren und Regula falsi 101. – 10.3.4 Konvergenzordnung 102. – 10.3.5 Probleme der Genauigkeit 102.	
10.4	Interpolationsverfahren . . . . .	102
	10.4.1 Aufgabenstellung, Existenz und Eindeutigkeit der Lösung 102. – 10.4.2 Ansatz nach Lagrange 103. – 10.4.3 Ansatz nach Newton 103. – 10.4.4 Polynomberechnung nach dem Horner-Schema 104.	
10.5	Auflösung linearer Gleichungen . . . . .	104
	10.5.1 Gaußsches Eliminationsverfahren 104.	
10.6	Integrationsverfahren . . . . .	105
	10.6.1 Newton-Cotes-Formeln 106. – 10.6.2 Graphisches Integrationsverfahren 107. – 10.6.3 Differenzenoperatoren 107.	
10.7	Numerische Lösungsverfahren für Differentialgleichungen . . . . .	108
	10.7.1 Aufgabenstellung des Anfangswertproblems 108. – 10.7.2 Das Eulersche Streckenzugverfahren 109. – 10.7.3 Runge-Kutta-Verfahren 109.	
10.8	Lineare Optimierung . . . . .	109
	10.8.1 Graphisches Verfahren für zwei Variablen 110. – 10.8.2 Simplexverfahren 111.	
10.9	Nichtlineare Optimierung . . . . .	113
	10.9.1 Problemstellung 113. – 10.9.2 Einige spezielle Algorithmen 113.	

## B Mechanik

<b>1</b>	<b>Statik starrer Körper</b> . . . . .	115
1.1	Allgemeines . . . . .	115
1.2	Zusammensetzen und Zerlegen von Kräften mit gemeinsamem Angriffspunkt 116 1.2.1 Ebene Kräftegruppe 116. – 1.2.2 Räumliche Kräftegruppe 116.	116
1.3	Zusammensetzen und Zerlegen von Kräften mit verschiedenen Angriffspunkten . . . . .	118
	1.3.1 Kräfte in der Ebene 118. – 1.3.2 Kräfte im Raum 118.	
1.4	Gleichgewicht und Gleichgewichtsbedingungen . . . . .	119
	1.4.1 Kräftesystem im Raum 119. – 1.4.2 Kräftesystem in der Ebene 119. – 1.4.3 Prinzip der virtuellen Arbeiten 120. – 1.4.4 Arten des Gleichgewichts 120. – 1.4.5 Standsicherheit 121.	
1.5	Lagerungsarten, Freimachungsprinzip . . . . .	121
1.6	Auflagerreaktionen an Körpern . . . . .	121
	1.6.1 Körper in der Ebene 121. – 1.6.2 Körper im Raum 123.	
1.7	Systeme starrer Körper . . . . .	123
1.8	Fachwerke . . . . .	124
	1.8.1 Ebene Fachwerke 124. – 1.8.2 Räumliche Fachwerke 125.	
1.9	Seile und Ketten . . . . .	125
	1.9.1 Seil unter Eigengewicht (Kettenlinie) 126. – 1.9.2 Seil unter konstanter Streckenlast 126. – 1.9.3 Seil mit Einzellast 126.	
1.10	Schwerpunkt (Massenmittelpunkt) . . . . .	126
1.11	Reibung . . . . .	129
	1.11.1 Haft- und Gleitreibung 129. – 1.11.2 Anwendungen zur Haft- und Gleitreibung 129. – 1.11.3 Rollwiderstand 130. – 1.11.4 Widerstand an Rollen 130.	
<b>2</b>	<b>Kinematik</b> . . . . .	131
2.1	Bewegung eines Punkts . . . . .	131
	2.1.1 Allgemeines 131. – 2.1.2 Ebene Bewegung 133. – 2.1.3 Räumliche Bewegung 134.	
2.2	Bewegung starrer Körper . . . . .	134
	2.2.1 Translation (Parallelverschiebung, Schiebung) 134. – 2.2.2 Rotation (Drehbewegung, Drehung) 134. – 2.2.3 Allgemeine Bewegung des starren Körpers 135.	
<b>3</b>	<b>Kinetik</b> . . . . .	139
3.1	Energetische Grundbegriffe – Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad . . . . .	139
3.2	Kinetik des Massenpunkts und des translatorisch bewegten Körpers . . . . .	140
	3.2.1 Dynamisches Grundgesetz von Newton (2. Newtonsches Axiom) 140. – 3.2.2 Arbeits- und Energiesatz 140. – 3.2.3 Impulssatz 141. – 3.2.4 Prinzip von d'Alembert und geführte Bewegungen 141. – 3.2.5 Impulsmomenten- (Flächen-) und Drehimpulssatz 141.	

3.3	Kinetik des Massenpunktsystems . . . . .	141
	3.3.1 Schwerpunktsatz 141. – 3.3.2 Arbeits- und Energiesatz 141. – 3.3.3 Impulssatz 142. – 3.3.4 Prinzip von d'Alembert und geführte Bewegungen 142. – 3.3.5 Impulsmomenten- und Drehimpulssatz 143. – 3.3.6 Lagrangesche Gleichungen 143. – 3.3.7 Prinzip von Hamilton 143. – 3.3.8 Systeme mit veränderlicher Masse 143.	
3.4	Kinetik starrer Körper . . . . .	144
	3.4.1 Rotation eines starren Körpers um eine feste Achse 144. – 3.4.2 Allgemeines über Massenträgheitsmomente 144. – 3.4.3 Allgemeine ebene Bewegung starrer Körper 145. – 3.4.4 Allgemeine räumliche Bewegung 147.	
3.5	Kinetik der Relativbewegung . . . . .	148
3.6	Der Stoß . . . . .	149
	3.6.1 Gerader zentraler Stoß 149. – 3.6.2 Schiefer zentraler Stoß 149. – 3.6.3 Exzentrischer Stoß 150. – 3.6.4 Drehstoß 150.	
<b>4</b>	<b>Schwingungslehre</b> . . . . .	<b>150</b>
4.1	Systeme mit einem Freiheitsgrad . . . . .	150
	4.1.1 Freie ungedämpfte Schwingung 150. – 4.1.2 Freie gedämpfte Schwingung 151. – 4.1.3 Ungedämpfte erzwungene Schwingung 152. – 4.1.4 Gedämpfte erzwungene Schwingung 152. – 4.1.5 Kritische Drehzahl und Biegeschwingung der einfach besetzten Welle 153.	
4.2	Systeme mit mehreren Freiheitsgraden (Koppelschwingungen) . . . . .	153
	4.2.1 Freie Schwingung mit zwei und mehr Freiheitsgraden 153. – 4.2.2 Erzwungene Schwingung mit zwei und mehr Freiheitsgraden 154. – 4.2.3 Berechnung von Eigenfrequenzen ungedämpfter Systeme 155. – 4.2.4 Schwingungen der Kontinua 155.	
4.3	Nichtlineare Schwingungen . . . . .	156
	4.3.1 Schwinger mit nichtlinearer Federkennlinie oder Rückstellkraft 156. – 4.3.2 Schwingungen mit periodischen Koeffizienten (rheolinerare Schwingungen) 157.	
<b>5</b>	<b>Hydrostatik (Statik der Fluide)</b> . . . . .	<b>158</b>
5.1	Hydrostatik (Statik der Flüssigkeiten) . . . . .	158
<b>6</b>	<b>Hydro- und Aerodynamik (Strömungslehre, Dynamik der Fluide)</b> . . . . .	<b>159</b>
6.1	Eindimensionale Strömungen idealer Flüssigkeiten . . . . .	160
	6.1.1 Anwendungen der Bernoullischen Gleichung für den stationären Fall 160. – 6.1.2 Anwendung der Bernoullischen Gleichung für den instationären Fall 161.	
6.2	Eindimensionale Strömungen zäher Newtonscher Flüssigkeiten (Rohrhydraulik) . . . . .	161
	6.2.1 Stationäre laminare Strömung in Rohren mit Kreisquerschnitt 162. – 6.2.2 Stationäre turbulente Strömung in Rohren mit Kreisquerschnitt 162. – 6.2.3 Strömung in Leitungen mit nicht vollkreisförmigen Querschnitten 163. – 6.2.4 Strömungsverluste durch spezielle Rohrleitungselemente und Einbauten 163. – 6.2.5 Stationärer Ausfluß aus Behältern 165. – 6.2.6 Stationäre Strömung durch offene Gerinne 166. – 6.2.7 Instationäre Strömung zäher Newtonscher Flüssigkeiten 166. – 6.2.8 Der freie Strahl 166.	
6.3	Eindimensionale Strömung Nicht-Newtonscher Flüssigkeiten . . . . .	166
6.4	Kraftwirkungen strömender inkompressibler Flüssigkeiten . . . . .	167
	6.4.1 Impulssatz 167. – 6.4.2 Anwendungen 167.	
6.5	Mehrdimensionale Strömung idealer Flüssigkeiten . . . . .	168
	6.5.1 Allgemeine Grundgleichungen 168. – 6.5.2 Potentialströmungen 169.	
6.6	Mehrdimensionale Strömung zäher Flüssigkeiten . . . . .	170
	6.6.1 Bewegungsgleichungen von Navier-Stokes 170. – 6.6.2 Einige Lösungen für kleine Reynoldssche Zahlen (laminare Strömung) 171. – 6.6.3 Grenzschichttheorie 171. – 6.6.4 Strömungswiderstand von Körpern 172. – 6.6.5 Tragflügel und Schaufeln 173. – 6.6.6 Schaufeln und Profile im Gitterverband 175.	
<b>7</b>	<b>Ähnlichkeitsmechanik</b> . . . . .	<b>175</b>
7.1	Allgemeines . . . . .	175
7.2	Ähnlichkeitsgesetze (Modellgesetze) . . . . .	176
	7.2.1 Statische Ähnlichkeit 176. – 7.2.2 Dynamische Ähnlichkeit 176. – 7.2.3 Thermische Ähnlichkeit 177. – 7.2.4 Analyse der Einheiten (Dimensionsanalyse) und $\Pi$ -Theorem 178.	
<b>C</b>	<b>Festigkeitslehre</b>	
<b>1</b>	<b>Allgemeine Grundlagen</b> . . . . .	<b>179</b>
1.1	Spannungen und Verformungen . . . . .	179
	1.1.1 Spannungen 179. – 1.1.2 Verformungen 181. – 1.1.3 Formänderungsarbeit 182.	
1.2	Festigkeitsverhalten der Werkstoffe . . . . .	182

1.3	Festigkeitshypothesen und Vergleichsspannungen . . . . .	183
1.3.1	Normalspannungshypothese 184. – 1.3.2 Schubspannungshypothese 184. –	
1.3.3	Gestaltänderungsenergiehypothese 184. – 1.3.4 Erweiterte Schubspannungshypothese 184. –	
1.3.5	Anstrengungsverhältnis nach Bach 184.	
<b>2</b>	<b>Beanspruchung stabförmiger Bauteile</b> . . . . .	<b>185</b>
2.1	<i>Zug- und Druckbeanspruchung</i> . . . . .	185
2.1.1	Stäbe mit konstantem Querschnitt und konstanter Längskraft 185. – 2.1.2 Stäbe mit veränderlicher Längskraft 185. – 2.1.3 Stäbe mit veränderlichem Querschnitt 185. – 2.1.4 Stäbe mit Kerben 185. – 2.1.5 Stäbe unter Temperatureinfluß 185.	
2.2	Abscherbeanspruchung . . . . .	185
2.3	Flächenpressung und Lochleibung . . . . .	186
2.3.1	Ebene Flächen 186. – 2.3.2 Gewölbte Flächen 186.	
2.4	Biegebeanspruchung . . . . .	186
2.4.1	Schnittlasten: Normalkraft, Querkraft, Biegemoment 186. – 2.4.2 Schnittlasten am geraden Träger in der Ebene 186. – 2.4.3 Schnittlasten an abgewinkelten und gekrümmten ebenen Trägern 189. – 2.4.4 Schnittlasten an räumlichen Trägern 190. – 2.4.5 Biegespannungen in geraden Balken 190. – 2.4.6 Schubspannungen und Schubmittelpunkt am geraden Träger 194. – 2.4.7 Biegespannungen in stark gekrümmten Trägern 196. – 2.4.8 Durchbiegung von Trägern 197. – 2.4.9 Formänderungsarbeit bei Biegung und Energiemethoden zur Berechnung von Einzeldurchbiegungen 203	
2.5	Torsionsbeanspruchung . . . . .	204
2.5.1	Stäbe mit Kreisquerschnitt und konstantem Durchmesser 204. – 2.5.2 Stäbe mit Kreisquerschnitt und veränderlichem Durchmesser 205. – 2.5.3 Dünnwandige Hohlquerschnitte (Bredtsche Formeln) 205. – 2.5.4 Stäbe mit beliebigem Querschnitt 205. – 2.5.5 Wölbkrafttorsion 207.	
2.6	Zusammengesetzte Beanspruchung . . . . .	208
2.6.1	Biegung und Längskraft 208. – 2.6.2 Biegung und Schub 208. – 2.6.3 Biegung und Torsion 208. – 2.6.4 Längskraft und Torsion 209. – 2.6.5 Schub und Torsion 209. – 2.6.6 Biegung mit Längskraft sowie Schub und Torsion 209.	
2.7	Statisch unbestimmte Systeme . . . . .	209
<b>3</b>	<b>Elastizitätstheorie</b> . . . . .	<b>212</b>
3.1	Allgemeines . . . . .	212
3.2	Der rotationssymmetrische Spannungszustand . . . . .	212
3.3	Der ebene Spannungszustand . . . . .	213
<b>4</b>	<b>Beanspruchung bei Berührung zweier Körper (Hertzsche Formeln)</b> . . . . .	<b>214</b>
4.1	Kugel . . . . .	214
4.2	Zylinder . . . . .	214
4.3	Beliebig gewölbte Fläche . . . . .	214
<b>5</b>	<b>Flächentragwerke</b> . . . . .	<b>215</b>
5.1	Platten . . . . .	215
5.1.1	Rechteckplatten 215. – 5.1.2 Kreisplatten 215. – 5.1.3 Elliptische Platten 216. – 5.1.4 Gleichseitige Dreieckplatte 216. – 5.1.5 Temperaturspannungen in Platten 216.	
5.2	Scheiben . . . . .	216
5.2.1	Volle Kreisscheibe 216. – 5.2.2 Ringförmige Scheibe 216. – 5.2.3 Unendlich ausgedehnte Scheibe mit Bohrung 216. – 5.2.4 Keilförmige Scheibe unter Einzelkräften 216.	
5.3	Schalen . . . . .	217
5.3.1	Biegeschlaffe Rotationsschalen und Membrantheorie für Innendruck 217. – 5.3.2 Biegesteife Schalen 217.	
<b>6</b>	<b>Dynamische Beanspruchung umlaufender Bauteile durch Fliehkräfte</b> . . . . .	<b>218</b>
6.1	Umlaufender Stab . . . . .	218
6.2	Umlaufender dünnwandiger Ring oder Hohlzylinder . . . . .	218
6.3	Umlaufende Scheiben . . . . .	219
6.3.1	Vollscheibe konstanter Dicke 219. – 6.3.2 Ringförmige Scheibe konstanter Dicke 219. – 6.3.3 Scheiben gleicher Festigkeit 219. – 6.3.4 Scheiben veränderlicher Dicke 219. – 6.3.5 Umlaufender dickwandiger Hohlzylinder 219.	
<b>7</b>	<b>Stabilitätsprobleme</b> . . . . .	<b>219</b>
7.1	Knickung . . . . .	219
7.1.1	Knicken im elastischen (Euler-)Bereich 220. – 7.1.2 Knicken im unelastischen (Tetmajer-)Bereich 220. – 7.1.3 Das $\omega$ -Verfahren 221. – 7.1.4 Näherungsverfahren zur Knicklastberechnung 221. – 7.1.5 Stäbe bei Änderung des Querschnitts bzw. der Längskraft 221. – 7.1.6 Knicken von Ringen, Rahmen und Stabsystemen 222. – 7.1.7 Biegedrillknicken 222.	

7.2	<b>Kippung</b> . . . . .	222
	7.2.1 Träger mit Rechteckquerschnitt 222. – 7.2.2 Träger mit I-Querschnitt 222.	
7.3	<b>Beulung</b> . . . . .	223
	7.3.1 Beulen von Platten 223. – 7.3.2 Beulen von Schalen 224. – 7.3.3 Beulspannungen im unelastischen (plastischen) Bereich 224.	
<b>8</b>	<b>Methode der Finiten Elemente</b> . . . . .	225
<b>9</b>	<b>Plastizitätstheorie</b> . . . . .	226
9.1	Allgemeines . . . . .	226
9.2	Anwendungen . . . . .	227
	9.2.1 Biegung des Rechteckbalkens 227. – 9.2.2 Räumlicher und ebener Spannungszustand 227.	
<b>D</b>	<b>Thermodynamik</b>	
<b>1</b>	<b>Thermodynamische Systeme</b> . . . . .	229
<b>2</b>	<b>Die Hauptsätze</b> . . . . .	229
<b>3</b>	<b>Thermische Zustandsgrößen</b> . . . . .	229
3.1	Temperatur . . . . .	229
	3.1.1 Temperaturskalen 229. – 3.1.2 Wärmedehnung 230.	
3.2	Druck . . . . .	230
3.3	Volumen . . . . .	230
<b>4</b>	<b>Wärme und Arbeit</b> . . . . .	230
4.1	Wärmekapazität . . . . .	230
4.2	Latente Wärme . . . . .	231
4.3	Mischungstemperatur . . . . .	231
4.4	Äußere Arbeit . . . . .	231
4.5	Technische Arbeit . . . . .	232
4.6	Exergie . . . . .	232
<b>5</b>	<b>Reversible und irreversible Prozesse</b> . . . . .	232
<b>6</b>	<b>Der 2. Hauptsatz</b> . . . . .	232
<b>7</b>	<b>Kalorische Zustandsgrößen</b> . . . . .	233
7.1	Innere Energie . . . . .	233
7.2	Enthalpie . . . . .	233
7.3	Entropie . . . . .	233
<b>8</b>	<b>Zustand und Zustandsänderungen</b> . . . . .	233
8.1	Zustandsgleichungen des idealen Gases . . . . .	233
	8.1.1 Thermische Zustandsgleichung 233. – 8.1.2 Kalorische Zustandsgleichung 234.	
8.2	Zustandsdiagramme . . . . .	234
8.3	Zustandsänderungen des idealen Gases . . . . .	234
	8.3.1 Theoretische Zustandsänderungen 235. – 8.3.2 Polytrope Zustandsänderungen 235. – 8.3.3 Drosselung 236.	
8.4	Kreisprozesse . . . . .	236
	8.4.1 Carnot-Prozeß 237. – 8.4.2 Otto-Prozeß 237. – 8.4.3 Diesel-Prozeß 237. – 8.4.4 Seiliger-Prozeß 237. – 8.4.5 Ericsson-Prozeß 237. – 8.4.6 Ackeret-Keller-Prozeß 237. – 8.4.7 Joule-Prozeß 237.	
<b>9</b>	<b>Dämpfe</b> . . . . .	238
9.1	Dampferzeugung . . . . .	238
9.2	Zustandsgrößen der Dämpfe . . . . .	239
9.3	Zustandsgleichungen der Dämpfe . . . . .	239
9.4	Zustandsdiagramme der Dämpfe . . . . .	239
<b>10</b>	<b>Schmelzen, Sublimieren</b> . . . . .	241

<b>11</b>	<b>Gasgemische</b>	241
11.1	Gesetz von Dalton	241
11.2	Zustandsgleichungen für Gemische aus idealen Gasen	241
11.3	Gas-Dampf-Gemische	241
11.4	Feuchte Luft	241
	11.4.1 Mollier-Diagramm für feuchte Luft 242. – 11.4.2 Zustandsänderungen von feuchter Luft 242.	
<b>12</b>	<b>Wärmeübertragung</b>	243
12.1	Wärmeleitung	243
	12.1.1 Stationäre Wärmeleitung durch eine ebene Wand 244. – 12.1.2 Stationäre Wärmeleitung durch eine zylindrische Wand 244. – 12.1.3 Stationäre Wärmeleitung durch eine Hohlkugelwand 244.	
12.2	Konvektion und Wärmeübergang	244
	12.2.1 Wärmeübergang ohne Änderung des Aggregatzustands 245. – 12.2.2 Wärmeübergang beim Kondensieren und Verdampfen 246.	
12.3	Strahlung	247
	12.3.1 Gesetz von Stefan-Boltzmann 247. – 12.3.2 Gesetz von Kirchhoff 247. – 12.3.3 Gesetz von Lambert 247. – 12.3.4 Wärmeaustausch durch Strahlung 247. – 12.3.5 Gasstrahlung 248.	
12.4	Wärmedurchgang	248
<b>13</b>	<b>Wärmequellen und Wärmeerzeugung</b>	248
13.1	Wärmequellen	248
13.2	Wärmeerzeugung durch Verbrennung von Brennstoffen	249
	13.2.1 Brennstoffe 249. – 13.2.2 Heizwert 250. – 13.2.3 Verbrennung 250. – 13.2.4 Verbrennungstemperatur 251.	
<b>14</b>	<b>Strömung von Gasen</b>	251
<b>E Werkstofftechnik</b>		
<b>1</b>	<b>Grundlagen der Werkstoff- und Bauteileigenschaften</b>	253
1.1	Belastungs- und Beanspruchungsfälle	253
	1.1.1 Grundlastfälle 254. – 1.1.2 Belastungsfälle an kräftegebundenen Oberflächen 254. – 1.1.3 Belastungszustände durch Eigenspannungen 254.	
1.2	Versagensursachen	255
	1.2.1 Versagensarten durch mechanische Beanspruchungen 255. – 1.2.2 Festigkeitshypothesen 256. – 1.2.3 Versagensarten unter komplexen Beanspruchungen 257.	
1.3	Werkstoffkennwerte für die Konstruktion	258
	1.3.1 Statische Beanspruchungen 258. – 1.3.2 Schwingbeanspruchungen 259. – 1.3.3 Zähigkeits- und Bruchzähigkeits-Kennwerte 260.	
1.4	Einfluß des Werkstoffaufbaus, der Fertigungsverfahren und der Umgebungseinflüsse auf das Festigkeits-Zähigkeits-Verhalten	261
	1.4.1 Metallurgische Einflüsse 261. – 1.4.2 Technologische Einflüsse 262. – 1.4.3 Oberflächeneinfluß 262. – 1.4.4 Umgebungseinflüsse 263.	
1.5	Festigkeitseigenschaften und konstruktive Gestaltung	264
	1.5.1 Gestalteinfluß auf statische Festigkeitseigenschaften 264. – 1.5.2 Gestalteinfluß auf Schwingfestigkeitseigenschaften 265.	
1.6	Tragfähigkeit von Bauteilen	266
	1.6.1 Statische Belastung 266. – 1.6.2 Bauteil-Tragfähigkeit unter Einstufen-Schwingbelastung 266. – 1.6.3 Bauteil-Tragfähigkeit unter zufallsbedingten Last-Zeit-Funktionen (Betriebsfestigkeit) 267. – 1.6.4 Bauteil-Tragfähigkeit unter Zeitstandsbeanspruchung 268. – 1.6.5 Anhaltswerte für Sicherheiten 269.	
<b>2</b>	<b>Werkstoffprüfung</b>	271
2.1	Grundlagen	271
	2.1.1 Probenentnahme 271. – 2.1.2 Versuchsauswertung 272.	
2.2	Prüfverfahren	273
	2.2.1 Zugversuch 273. – 2.2.2 Druckversuch 274. – 2.2.3 Biegeversuch 275. – 2.2.4 Härteprüfverfahren 275. – 2.2.5 Kerschlag-Biegeversuch 276. – 2.2.6 Bruchmechanische Prüfungen 277. – 2.2.7 Chemische Prüfungen und metallographische Untersuchungsverfahren 277. – 2.2.8 Metallographische Untersuchungen 278. – 2.2.9 Technologische Prüfungen 279. – 2.2.10 Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung 279. – 2.2.11 Dauerversuche 280.	
<b>3</b>	<b>Eigenschaften und Verwendung der Werkstoffe</b>	281
3.1	Eisenwerkstoffe	281
	3.1.1 Das Zustandsschaubild Eisen-Kohlenstoff 281. – 3.1.2 Stahlerzeugung 281. – 3.1.3 Wärmebehandlung des Stahls 283. – 3.1.4 Stähle 287. – 3.1.5 Gußeisen 296.	

3.2	Nichteisenmetalle . . . . .	297
	3.2.1 Kupfer und seine Legierungen 297. – 3.2.2 Aluminium und seine Legierungen 299. – 3.2.3 Magnesium-Legierungen 301. – 3.2.4 Titan-Legierungen 301. – 3.2.5 Nickel und seine Legierungen 301. – 3.2.6 Zink und seine Legierungen 302. – 3.2.7 Blei 302. – 3.2.8 Zinn 302. – 3.2.9 Überzüge auf Metallen 302.	
3.3	Nichtmetallische Werkstoffe . . . . .	303
	3.3.1 Keramische Werkstoffe 303. – 3.3.2 Beton 304. – 3.3.3 Glas 305. – 3.3.4 Holz 305. – 3.3.5 Kunststoffe 306.	
3.4	Schmierstoffe . . . . .	310
	3.4.1 Flüssige Schmierstoffe 310. – 3.4.2 Schmierfette 312. – 3.4.3 Festschmierstoffe 313.	

## F Grundlagen der Konstruktionstechnik

<b>1</b>	<b>Grundlagen technischer Systeme</b> . . . . .	315
1.1	Energie-, Stoff- und Signalumsatz . . . . .	315
1.2	Funktionaler Zusammenhang . . . . .	316
1.3	Physikalischer Zusammenhang . . . . .	317
1.4	Gestalterischer Zusammenhang . . . . .	317
1.5	Generelle Zielsetzung und Bedingungen . . . . .	317
<b>2</b>	<b>Grundlagen methodischen Vorgehens</b> . . . . .	317
2.1	Allgemeine Arbeitsmethodik . . . . .	317
2.2	Allgemeiner Lösungsprozeß . . . . .	318
2.3	Abstrahieren zum Erkennen der Probleme . . . . .	318
2.4	Suche nach Lösungsprinzipien . . . . .	318
	2.4.1 Allgemein anwendbare Methoden 318. – 2.4.2 Intuitiv betonte Methoden 318. – 2.4.3 Diskursiv betonte Methoden 319.	
2.5	Beurteilen von Lösungen . . . . .	320
	2.5.1 Auswahlverfahren 320. – 2.5.2 Bewertungsverfahren 320. – 2.5.3 Ermitteln der Herstellkosten 321. – 2.5.4 Wertanalyse 321.	
<b>3</b>	<b>Konstruktionsprozeß</b> . . . . .	322
3.1	Klären der Aufgabenstellung . . . . .	322
	3.1.1 Anforderungsliste 322. – 3.1.2 Aufstellen der Anforderungen 322.	
3.2	Konzipieren . . . . .	323
3.3	Entwerfen . . . . .	324
3.4	Ausarbeiten . . . . .	324
3.5	Konstruktionsarten . . . . .	325
<b>4</b>	<b>Grundlagen der Gestaltung</b> . . . . .	325
4.1	Grundregeln . . . . .	325
4.2	Gestaltungsprinzipien . . . . .	325
	4.2.1 Prinzip der Aufgabenteilung 325. – 4.2.2 Prinzip der Selbsthilfe 326. – 4.2.3 Prinzipien der Kraft- und Energieleitung 326. – 4.2.4 Prinzipien der Sicherheitstechnik 327.	
4.3	Gestaltungsrichtlinien . . . . .	328
	4.3.1 Beanspruchungsgerecht 328. – 4.3.2 Formänderungsgerecht 328. – 4.3.3 Stabilitäts- und resonanzgerecht 328. – 4.3.4 Ausdehnungsgerecht 328. – 4.3.5 Korrosionsgerecht 329. – 4.3.6 Verschleißgerecht 329. – 4.3.7 Arbeitssicherheits- und ergonomiegerecht 330. – 4.3.8 Formgestaltungsgerecht 330. – 4.3.9 Fertigungs- und kontrollgerecht 330. – 4.3.10 Montagegerecht 330. – 4.3.11 Gebrauchs- und instandhaltungsgerecht 331.	
<b>5</b>	<b>Grundlagen der Baureihen- und Baukastenentwicklung</b> . . . . .	332
5.1	Ähnlichkeitsbeziehungen . . . . .	332
5.2	Dezimalgeometrische Normzahlreihen . . . . .	332
	5.2.1 Eigenschaften der dezimalgeometrischen Reihe 332. – 5.2.2 Wahl der Größenstufung 333. – 5.2.3 Darstellung im Normzahldiagramm 333.	
5.3	Geometrisch ähnliche Baureihe . . . . .	334
5.4	Halbähnliche Baureihen . . . . .	334
5.5	Anwenden von Exponentengleichungen . . . . .	334
5.6	Baukasten . . . . .	334

<b>6</b>	<b>Grundlagen des Normen- und Zeichnungswesens</b>	335
6.1	Normenwerk	335
	6.1.1 Überbetriebliche Normen 335. – 6.1.2 Innerbetriebliche Normen 336. – 6.1.3 Normenanwendung 336.	
6.2	Grundnormen	336
	6.2.1 Technische Oberflächen 336. – 6.2.2 Toleranzen und Passungen 338.	
6.3	Zeichnungen und Stücklisten	340
	6.3.1 Zeichnungsarten 340. – 6.3.2 Formate, Linien und Schrift 340. – 6.3.3 Darstellung und Bemaßung 340. – 6.3.4 Stücklisten 341.	
6.4	Sachnummernsysteme	342
<b>G</b>	<b>Konstruktionselemente</b>	
<b>1</b>	<b>Bauteilverbindungen</b>	345
1.1	Schweißen	345
	1.1.1 Schweißverfahren 345. – 1.1.2 Schweißbarkeit der Werkstoffe 350. – 1.1.3 Stoß- und Nahtarten 354. – 1.1.4 Darstellung der Schweißnähte 356. – 1.1.5 Berechnung von Schweißverbindungen 356.	
1.2	Löten	363
	1.2.1 Vorgang 363. – 1.2.2 Weichlöten 363. – 1.2.3 Hartlöten und Schweißlöten (Fügenlöten) 364.	
1.3	Kleben	364
	1.3.1 Anwendung und Vorgang 364. – 1.3.2 Klebstoffe 365. – 1.3.3 Tragfähigkeit 366.	
1.4	Reibschlußverbindungen	367
	1.4.1 Formen, Anwendung 367. – 1.4.2 Klemmverbindungen 367.	
1.5	Formschlußverbindungen	368
	1.5.1 Keilverbindungen 368. – 1.5.2 Bolzen 369. – 1.5.3 Stifte 370.	
1.6	Nietverbindungen	370
	1.6.1 Beanspruchungen 370. – 1.6.2 Nieten im Kesselbau 372. – 1.6.3 Nietungen im Stahlbau 372. – 1.6.4 Nietungen im Leichtmetallbau 373.	
1.7	Schrauben und Schraubverbindungen	374
	1.7.1 Kennzeichen der Schraubenebewegung 374. – 1.7.2 Gewindecarten 374. – 1.7.3 Schrauben- und Mutterwerkstoffe 375. – 1.7.4 Kräfte und Verformungen beim Anziehen von Schraubverbindungen 375. – 1.7.5 Beanspruchung in einer vorgespannten und belasteten Schraubverbindung 378. – 1.7.6 Auslegung und Dauerfestigkeitsberechnung von Schraubverbindungen 379. – 1.7.7 Schrauben- und Mutterarten 381. – 1.7.8 Sicherung von Schraubverbindungen 382. – 1.7.9 Allgemeine Gestaltungshinweise 383.	
1.8	Verbindungsauswahl	385
	1.8.1 Systematik fester Verbindungen 385. – 1.8.2 Auswahlmerkmale 388.	
<b>2</b>	<b>Federnde Verbindungen (Federn)</b>	389
2.1	Eigenschaften, Kenngrößen, Aufgaben	389
	2.1.1 Begriffsbestimmungen 389. – 2.1.2 Federkennlinie, Federsteifigkeit, Federnachgiebigkeit 389. – 2.1.3 Arbeitsaufnahmefähigkeit, Nutzungsgrad, Dämpfungsvermögen, Dämpfungsfaktor 389. – 2.1.4 Charakteristische Aufgaben federnder Verbindungen 390.	
2.2	Metallfedern	390
	2.2.1 Zug/Druck-beanspruchte Zug- oder Druckfedern, Ringfedern 390. – 2.2.2 Einfache und geschichtete Blattfedern (gerade, biegebeanspruchte Federn) 390. – 2.2.3 Spiralfedern (eben gewundene, biegebeanspruchte Federn) und Schenkelfedern (biegebeanspruchte Schraubendrehfedern) 393. – 2.2.4 Tellerfedern (scheibenförmige, biegebeanspruchte Federn) 393. – 2.2.5 Drehstabfedern (gerade, drehbeanspruchte Federn) 394. – 2.2.6 Zylindrische Schraubenzugfedern und Schraubendruckfedern 395.	
2.3	Gummifedern	397
	2.3.1 Der Werkstoff „Gummi“ und seine Eigenschaften 397. – 2.3.2 Aufbau von Gummifederelementen 398.	
2.4	Gasfedern	400
<b>3</b>	<b>Achsen und Wellen</b>	402
3.1	Auslegung von Achsen und Wellen	402
	3.1.1 Allgemeines 402. – 3.1.2 Gestaltungs- und Auslegungsgesichtspunkte 402. – 3.1.3 Bemessung 402.	
3.2	Wellen-Naben-Verbindungen	403
	3.2.1 Überblick und wichtigste Eigenschaften 403. – 3.2.2 Bemessung formschlüssiger Verbindungen 403. – 3.2.3 Bemessung reibschlüssiger Verbindungen 405. – 3.2.4 Axiale Sicherungselemente 406.	
<b>4</b>	<b>Kupplungen und Bremsen</b>	407
4.1	Überblick, Aufgaben	407

4.2	Drehstarre, nicht schaltbare Kupplungen . . . . .	408
4.2.1	Feste Kupplungen 408. – 4.2.2 Drehstarre Ausgleich-Kupplungen 409.	
4.3	Elastische, nicht schaltbare Kupplungen . . . . .	409
4.3.1	Feder- und Dämpfungsverhalten 409. – 4.3.2 Schwingungsverhalten. Auslegungsgesichtspunkte 410. – 4.3.3 Auswahlgesichtspunkte 410. – 4.3.4 Bauformen 410.	
4.4	Fremdgeschaltete Kupplungen . . . . .	411
4.4.1	Formschlüssige Schaltkupplungen 411. – 4.4.2 Der Schaltvorgang bei reibschlüssigen Schaltkupplungen 411. – 4.4.3 Auslegung einer reibschlüssigen Schaltkupplung 412. – 4.4.4 Bauarten reibschlüssiger Schaltkupplungen 412. – 4.4.5 Auswahlkriterien 413. – 4.4.6 Bremsen 413.	
4.5	Selbsttätig schaltende Kupplungen . . . . .	413
4.5.1	Drehmomentgeschaltete Kupplungen 413. – 4.5.2 Drehzahlgeschaltete Kupplungen 413. – 4.5.3 Richtungsgeschaltete Kupplungen (Freiläufe) 414.	
<b>5</b>	<b>Wälzlagerungen</b> . . . . .	<b>415</b>
5.1	Grundlagen . . . . .	415
5.1.1	Beanspruchung einer Wälzpaarung 415. – 5.1.2 Kraftverteilung und Tragzahl 416. – 5.1.3 Baumaße, Benennungen und Kennzeichen genormter Wälzlager 416. – 5.1.4 Toleranzen und Lagerluft 417.	
5.2	Wälzlager-Bauformen . . . . .	417
5.2.1	Kugellager 417. – 5.2.2 Rollenlager 417. – 5.2.3 Längsführungen 418.	
5.3	Tragfähigkeit, Lebensdauer, Gebrauchsdauer . . . . .	418
5.3.1	Statische Tragfähigkeit 418. – 5.3.2 Dynamische Tragfähigkeit bei konstanter Belastung und Drehzahl 418. – 5.3.3 Dynamische Tragfähigkeit bei veränderlicher Belastung und Drehzahl 420. – 5.3.4 Gebrauchsdauer und Verschleiß 420. – 5.3.5 Wahl der Lebensdauer 421. – 5.3.6 Grenzdrehzahlen 421.	
5.4	Schmierung der Wälzlager . . . . .	422
5.4.1	Wahl des Schmierverfahrens 422. – 5.4.2 Ölauswahl 422. – 5.4.3 Fettauswahl 423.	
5.5	Reibung und Erwärmung . . . . .	424
5.6	Gestaltung von Wälzlagerungen . . . . .	424
5.6.1	Lagerereinbau und Lageranordnung 424. – 5.6.2 Passungen 424. – 5.6.3 Dichtungen 424. – 5.6.4 Einfluß der Konstruktion auf die Lebensdauer 425.	
5.7	Einbaubeispiele  . . . . .	426
<b>6</b>	<b>Gleitlagerungen</b> . . . . .	<b>426</b>
6.1	Grundlagen der Gleitlagerauslegung . . . . .	426
6.1.1	Hydrodynamischer Tragvorgang 426. – 6.1.2 Reibungszustände im Gleitlager 427.	
6.2	Berechnung stationärer Radialgleitlager . . . . .	427
6.2.1	Verschleißsicherheit 427. – 6.2.2 Berechnung der Lagertemperatur 428. – 6.2.3 Erforderlicher Ölbedarf 429. – 6.2.4 Das relative Lagerspiel 429.	
6.3	Berechnung instationärer Radialgleitlager . . . . .	429
6.4	Berechnung von Axialgleitlagern . . . . .	430
6.5	Konstruktive Gestaltung . . . . .	431
6.5.1	Einfluß der Konstruktion auf die Gleitraumgestalt 431. – 6.5.2 Schmierstoffversorgung 432. – 6.5.3 Lagerkühlung 432. – 6.5.4 Lagerwerkstoffe 432. – 6.5.5 Ausführung der Lagerschalen 433. – 6.5.6 Besondere Lagerwerkstoffe 433.	
6.6	Mehrgleitflächenlager . . . . .	434
6.7	Dichtungen . . . . .	434
6.8	Trockenauflager . . . . .	434
6.9	Hydrostatische Anfahrhilfe . . . . .	435
6.10	Hydrostatische Lager . . . . .	435
6.10.1	Radiallager 435. – 6.10.2 Axiallager 436.	
<b>7</b>	<b>Zugmittelgetriebe</b> . . . . .	<b>437</b>
7.1	Zweck und Bauarten . . . . .	437
7.2	Flachriemengetriebe . . . . .	438
7.2.1	Kräfte am Flachriemengetriebe 438. – 7.2.2 Beanspruchungen 439. – 7.2.3 Geometrische Beziehungen 439. – 7.2.4 Kinematik, Leistung, Wirkungsgrad 439. – 7.2.5 Riemenlauf und Vorspannung 440. – 7.2.6 Riemenwerkstoffe 441. – 7.2.7 Bemessungsrichtlinien 441.	
7.3	Keilriemen . . . . .	443
7.3.1	Anwendung und Eigenschaften 443. – 7.3.2 Typen und Bauarten von Keilriemen 443. – 7.3.3 Bemessungsrichtlinien 444.	
7.4	Zahnriemen . . . . .	444
7.4.1	Aufbau, Eigenschaften, Anwendung 444. – 7.4.2 Konstruktive Hinweise 445. – 7.4.3 Bemessungsrichtlinien 445.	

7.5	Kettengetriebe . . . . .	445
	7.5.1. Eigenschaften, Bauarten, Anwendung 445. – 7.5.2 Konstruktive Hinweise 445. – 7.5.3 Bemessungsrichtlinien 446.	
<b>8</b>	<b>Reibradgetriebe . . . . .</b>	<b>446</b>
8.1	Reibradgetriebe mit annähernd konstanter Übersetzung . . . . .	446
	8.1.1 Wirkungsweise 446. – 8.1.2 Hinweise für Konstruktion und Anwendung 447.	
8.2	Stufenlos einstellbare Wälzgetriebe . . . . .	447
	8.2.1 Definition und Anwendung 447. – 8.2.2 Bauarten 447. – 8.2.3 Abtriebskennlinie 448. – 8.2.4 Übersetzung $i$ und Stellverhältnis $\phi$ 448. – 8.2.5 Bohrreibung 449. – 8.2.6 Schlupf 449. – 8.2.7 Übertragbare Leistung und Wirkungsgrad 450. – 8.2.8 Hinweise für Konstruktion und Anwendung 450.	
<b>9</b>	<b>Zahnradgetriebe . . . . .</b>	<b>451</b>
9.1	Stirnräder – Verzahnungsgeometrie . . . . .	452
	9.1.1 Verzahnungsgesetz 452. – 9.1.2 Übersetzung, Zähnezahlverhältnis, Momentenverhältnis 452. – 9.1.3 Konstruktion von Eingriffslinie und Gegenflanke 452. – 9.1.4 Flankenlinien und Formen der Verzahnung 453. – 9.1.5 Allgemeine Verzahnungsgrößen 453. – 9.1.6 Gleit- und Wälzbewegung 454. – 9.1.7 Evolventenverzahnung 454. – 9.1.8 Sonstige Verzahnungen (außer Evolventen) und ungleichmäßig übersetzende Zahnräder 458.	
9.2	Verzahnungsabweichungen und -toleranzen, Flankenspiel . . . . .	459
9.3	Schmierung und Kühlung . . . . .	459
9.4	Werkstoffe und Wärmebehandlung – Verzahnungsherstellung . . . . .	461
9.5	Tragfähigkeit von Gerad- und Schrägstirnrädern . . . . .	462
	9.5.1 Zahnschäden und Abhilfen 462. – 9.5.2 Pflichtenheft 463. – 9.5.3 Anhaltswerte für die Dimensionierung 463. – 9.5.4 Nachrechnung der Tragfähigkeit 464.	
9.6	Kegelräder . . . . .	469
	9.6.1 Geradzahn-Kegelräder 469. – 9.6.2 Kegelräder mit Schräg- oder Bogenverzahnung 470. – 9.6.3 Sondergetriebe 470. – 9.6.4 Lagerkräfte 470. – 9.6.5 Hinweise zur Konstruktion von Kegelrädern 471.	
9.7	Stirnschraubräder . . . . .	471
9.8	Schneckengetriebe . . . . .	471
	9.8.1 Zylinder-schnecken-Geometrie 471. – 9.8.2 Zahnkräfte, Lagerkräfte 472. – 9.8.3 Wirkungsgrad 472. – 9.8.4 Auslegung und Nachrechnung der Tragfähigkeit 473. – 9.8.5 Gestaltung, Werkstoffe, Lagerung, Genauigkeit, Schmierung, Montage 474.	
9.9	Umlaufgetriebe . . . . .	475
	9.9.1 Kinematische Grundlagen, Bezeichnungen 475. – 9.9.2 Vorzeichenregeln 475. – 9.9.3 Drehmomente, Leistungen, Wirkungsgrade 476. – 9.9.4 Konstruktive Hinweise 476. – 9.9.5 Auslegung einfacher Planetengetriebe 477. – 9.9.6 Zusammengesetzte Planetengetriebe 477.	
9.10	Gestaltung der Zahnradgetriebe . . . . .	480
	9.10.1 Bauarten 480. – 9.10.2 Anschluß an Motor und Arbeitsmaschine 481. – 9.10.3 Gestalten und Bemaßen der Zahnräder 481. – 9.10.4 Gestalten der Gehäuse 481. – 9.10.5 Lagerung 484.	
<b>10</b>	<b>Kurbeltrieb . . . . .</b>	<b>485</b>
10.1	Kinematik . . . . .	486
	10.1.1 Kolbenweg 486. – 10.1.2 Kolbengeschwindigkeit 486. – 10.1.3 Kolbenbeschleunigung 486.	
10.2	Dynamik . . . . .	487
	10.2.1 Stoffkräfte 487. – 10.2.2 Massenkkräfte 487. – 10.2.3 Gesamtkräfte 488. – 10.2.4 Kräfte in den Triebwerkteilen 489.	
10.3	Elemente des Kurbeltriebs . . . . .	489
	10.3.1 Kurbelwellen 489. – 10.3.2 Schubstangen 490. – 10.3.3 Kolben 491.	
<b>11</b>	<b>Elemente zur Führung flüssiger und gasförmiger Fluide . . . . .</b>	<b>492</b>
11.1	Berechnung von Rohrleitungen . . . . .	492
	11.1.1 Innerer Rohrdurchmesser 492. – 11.1.2 Strömungsverluste 492. – 11.1.3 Rohrwanddicke 493. – 11.1.4 Thermische Dehnung 493. – 11.1.5 Rohrverbindungen 493. – 11.1.6 Rohrkräfte 493. – 11.1.7 Stützweite 494.	
11.2	Gestaltung von Rohrnetzen . . . . .	494
	11.2.1 Rohrrarten, Normen, Werkstoffe 494. – 11.2.2 Rohrverbindungen 495. – 11.2.3 Dehnungsausgleicher 497. – 11.2.4 Rohrhalterungen 498. – 11.2.5 Schutz der Rohrleitung 498.	
11.3	Absperr- und Regelorgane . . . . .	498
	11.3.1 Allgemeines 498. – 11.3.2 Ventile 500. – 11.3.3 Schieber 501. – 11.3.4 Hähne (Drehschieber) 502. – 11.3.5 Klappen 503.	
11.4	Dichtungen . . . . .	503
	11.4.1 Berührungsdichtungen an ruhenden Flächen 503. – 11.4.2 Berührungsdichtungen an gleitenden Flächen 504.	

**H Ölhydraulik und Pneumatik**

<b>1 Grundlagen der fluidischen Energieübertragung</b>	507
1.1 Der Fließprozeß	507
1.1.1 Energieübertragung durch Flüssigkeiten 507. – 1.1.2 Energieübertragung durch Gase 508.	
1.2 Hydraulikflüssigkeiten	508
1.3 Systematik	508
1.3.1 Aufbau und Funktion der Fluidgetriebe 508. – 1.3.2 Ordnung der Fluidgetriebe 509. –	
1.3.3 Gliederung der Getriebebauweisen 509. – 1.3.4 Symbole 510.	
<b>2 Bauelemente hydrostatischer Getriebe</b>	510
2.1 Hydropumpen	510
2.1.1 Übersicht 510. – 2.1.2 Pumpenkennwerte und Leistungsbilanz 510. – 2.1.3 Zahnpumpen 510.	
– 2.1.4 Flügelumpen 512. – 2.1.5 Kolbenpumpen 513.	
2.2 Hydromotoren	514
2.3 Hydroventile	515
2.3.1 Wegeventile 516. – 2.3.2 Sperrventile 517. – 2.3.3 Druckventile 517. – 2.3.4 Stromventile 517.	
– 2.3.5 Proportionalventile 518.	
2.4 Hydraulikzubehör	518
<b>3 Aufbau und Funktion der Hydrogetriebe</b>	518
3.1 Hydrokreise	518
3.1.1 Offener Kreislauf 518. – 3.1.2 Geschlossener Kreislauf 518. – 3.1.3 Halbhohe Kreisläufe 519.	
3.2 Funktion der Hydrogetriebe	519
3.2.1 Anlaufvorgang 519. – 3.2.2 Formale Funktionsbeschreibung 519.	
3.3 Steuerung	520
3.3.1 Verstellgetriebe 520. – 3.3.2 Stromteilgetriebe 520. – 3.3.3 Selbsttätige Stromsteuerung bei	
Verstellpumpen 520.	
<b>4 Ausführung und Auslegung von Hydrogetrieben</b>	521
4.1 Getriebebeschaltungen	521
4.1.1 Schaltungsbeispiele für Ferngetriebe 521. – 4.1.2 Kompaktgetriebe 522.	
4.2 Auslegung von Hydrokreisen	522
<b>5 Pneumatische Antriebe</b>	523
5.1 Bauelemente	523
5.2 Schaltung	523
5.3 Niederdrucksteuerungen	524

**I Getriebetechnik**

<b>1 Getriebesystematik</b>	525
1.1 Grundlagen	525
1.1.1 Getriebedefinition 525. – 1.1.2 Getriebeaufbau 525. – 1.1.3 Getriebe-Laufgrad 526.	
1.2 Getriebearten	526
1.2.1 Gelenkviereck 526. – 1.2.2 Viergliedrige Schubgelenk-Getriebe 526. – 1.2.3 Mehrgliedrige	
Gelenkgetriebe 526. – 1.2.4 Durchlaufähigkeit der Ketten und Getriebe mit unterschiedlicher Verteilung	
von Umlauf- und Schwinggelenken 526. – 1.2.5 Kurvengetriebe mit vollumrollter und teilberollter	
Kurve 527.	
<b>2 Getriebeanalyse</b>	528
2.1 Übertragungsfunktionen der Gelenkgetriebe	528
2.1.1 Lagenbeziehungen 528. – 2.1.2 Geschwindigkeitszustand als Übertragungsfunktion 1. Ordnung	
528. – 2.1.3 Beschleunigungszustand als Übertragungsfunktion 2. Ordnung 528.	
2.2 Koppelkurven der Gelenkgetriebe	529
2.3 Analyse mehrgliedriger Getriebe	529
2.4 Wirksame Kräfte und Momente	530
2.4.1 Drehmomente aus dem Übersetzungsverhältnis 530. – 2.4.2 Gelenkkraft-Verfahren 530. –	
2.4.3 Polkraft-Verfahren 530. – 2.4.4 Resultierende Trägheitskraft 530.	
2.5 Laufgüte der Getriebe	530
2.5.1 Kenngrößen für die Laufgüte 530. – 2.5.2 Übertragungswinkel 530. – 2.5.3 Ablenkwinkel 531.	
– 2.5.4 Übertragungswirkungsgrad 531.	
2.6 Ersatz-Gelenkgetriebe für Kurvengetriebe	531

<b>3</b>	<b>Getriebesynthese</b>	532
3.1	Gelenkgetriebe	532
	3.1.1 Übertragungs- und beschleunigungsgünstige Schwingbewegungen 532. – 3.1.2 Winkelzuordnungen 532. – 3.1.3 Erzeugung gegebener ebener Kurven 532.	
3.2	Kurvengetriebe	533
	3.2.1 Kurvengetriebe als Funktionsgetriebe 533. – 3.2.2 Wälzkurvengetriebe 533.	
<b>4</b>	<b>Sondergetriebe</b>	535

## **K Thermischer Apparatebau**

<b>1</b>	<b>Grundlagen</b>	537
1.1	Bedeutung und Unterscheidungsmerkmale von wärmeübertragenden Apparaten	537
1.2	Wärme- und strömungstechnische Auslegung	537
	1.2.1 Wärmetechnische Auslegung von Rekuperatoren 537. – 1.2.2 Wärmetechnische Auslegung von Regeneratoren 538. – 1.2.3 Strömungstechnische Auslegung 539.	
1.3	Stromführung und Schaltungssinn wärmeübertragender Apparate	539
1.4	Wirkungsgrade, Verluste	540
	1.4.1 Allgemeines 540. – 1.4.2 Berechnung von Exergieverlusten 540.	
<b>2</b>	<b>Konstruktionselemente</b>	541
2.1	Berechnungsgrundlagen	541
2.2	Zylindrische Mäntel unter innerem Überdruck	541
2.3	Zylindrische Mäntel unter äußerem Überdruck	542
2.4	Ebene Böden und Rohrplatten	542
2.5	Gewölbte Böden	543
2.6	Ausschnitte	543
2.7	Flanschverbindungen	543
	2.7.1 Schrauben 543. – 2.7.2 Flansche 544.	
<b>3</b>	<b>Bauarten</b>	545
<b>4</b>	<b>Kondensation und Rückkühlung</b>	546
4.1	Grundbegriffe der Kondensation	546
4.2	Oberflächenkondensatoren	547
	4.2.1 Wärmetechnische Berechnung 547. – 4.2.2 Kondensatoren in Dampfkraftanlagen 547. – 4.2.3 Kondensatoren in der chemischen Industrie 547. – 4.2.4 Konstruktive Gesichtspunkte 548.	
4.3	Einspritz-(Misch-)Kondensatoren	548
4.4	Luftgekühlte Kondensatoren	549
4.5	Hilfsmaschinen	549
	4.5.1 Trockenluftpumpen 549. – 4.5.2 Kühlwasser- und Kondensatumpumpen 550.	
4.6	Indirekte Luftkühlung und Rückkühlanlagen	550
	4.6.1 Bauarten 551. – 4.6.2 Berechnung 551.	

## **L Dampferzeugungsanlagen**

<b>1</b>	<b>Energiequellen</b>	553
1.1	Brennstoffe	553
	1.1.1 Definitionen 553. – 1.1.2 Feste Brennstoffe 553. – 1.1.3 Flüssige Brennstoffe 556. – 1.1.4 Gasförmige Brennstoffe oder Brenngase 558.	
1.2	Kernenergie	560
	1.2.1 Arten der Kernenergie 560. – 1.2.2 Spalt- und Brutstoffe 561. – 1.2.3 Moderatoren (Bremsstoffe) 562. – 1.2.4 Kühlmittel 563. – 1.2.5 Sonstige im Reaktorbau wichtige Stoffe 563. – 1.2.6 Abschirmung 563.	
<b>2</b>	<b>Feuerungen</b>	564
2.1	Allgemeines	564
	2.1.1 Verbrennungsvorgang 564. – 2.1.2 Kennzahlen 564. – 2.1.3 Druckzustände 565. – 2.1.4 Emissionen 565. – 2.1.5 Sicherheitsvorschriften 565.	
2.2	Feuerungen für feste Brennstoffe	566
	2.2.1 Rostfeuerungen 566. – 2.2.2 Kohlenstaubfeuerungen 568. – 2.2.3 Zubehör für Feuerungen für feste Brennstoffe 574.	

2.3	Feuerungen für flüssige Brennstoffe . . . . .	575
2.3.1	Besondere Eigenschaften 575. – 2.3.2 Brenner 575. – 2.3.3 Gesamtanlage 577.	
2.4	Feuerungen für gasförmige Brennstoffe . . . . .	578
2.4.1	Verbrennung und Brenneinteilung 578. – 2.4.2 Brennerbauarten 579. – 2.4.3 Sicherheitsvorkehrungen 579.	
2.5	Allgemeines Feuerungszubehör . . . . .	580
2.5.1	Gebläse 580. – 2.5.2 Kanäle und Klappen 580. – 2.5.3 Schornstein 580.	
<b>3</b>	<b>Kernreaktoren</b> . . . . .	<b>581</b>
3.1	Einteilung der Bauarten . . . . .	581
3.2	Bauteile des Reaktors und Reaktorgebäude . . . . .	582
3.3	Sicherheit von Kernreaktoren . . . . .	582
3.4	Regelung und Schnellabschaltung . . . . .	582
3.5	Berechnung . . . . .	583
3.6	Leichtwasserreaktoren . . . . .	584
3.6.1	Druckwasserreaktor 584. – 3.6.2 Siedewasserreaktor 585.	
3.7	Schwerwasserreaktoren . . . . .	587
3.8	Gasgekühlte thermische Reaktoren . . . . .	587
3.9	Schnelle Brutreaktoren . . . . .	589
<b>4</b>	<b>Dampferzeuger</b> . . . . .	<b>590</b>
4.1	Angaben zum System . . . . .	590
4.1.1	Bauarten 590. – 4.1.2 Drücke 590. – 4.1.3 Temperaturen 590. – 4.1.4 Leistung 590. – 4.1.5 Sicherheit 590.	
4.2	Ausgeführte Dampferzeuger . . . . .	591
4.2.1	Großwasserraum-Kessel 591. – 4.2.2 Naturumlaufkessel mit Beheizung durch fossile Brennstoffe 591. – 4.2.3 Zwanglaufkessel mit Beheizung durch fossile Brennstoffe 593. – 4.2.4 Dampferzeuger für Kernreaktoren 600.	
4.3	Teile und Bauelemente von Dampferzeugern . . . . .	602
4.3.1	Verdampfer 602. – 4.3.2 Überhitzer und Zwischenüberhitzer 605. – 4.3.3 Speisewasservorwärmer (Eco) 607. – 4.3.4 Luftvorwärmer (Luvo) 607.	
4.4	Ausrüstung von Dampferzeugern . . . . .	609
4.4.1	Druckseitige Ausrüstung 609. – 4.4.2 Drucklose Ausrüstung 612.	
<b>5</b>	<b>Berechnung</b> . . . . .	<b>615</b>
5.1	Wärmetechnische Berechnung . . . . .	615
5.1.1	Energiebilanz, Wirkungsgrad und Abnahmeversuche 615. – 5.1.2 Ermittlung der Heizfläche 616. – 5.1.3 Strömungswiderstände 617.	
5.2	Festigkeitsberechnung . . . . .	617
5.2.1	Zylinderschalen unter innerem Überdruck 617. – 5.2.2 Böden 618.	
<b>6</b>	<b>Speisewasser-Aufbereitungsanlagen</b> . . . . .	<b>619</b>
6.1	Eigenschaften des Wassers . . . . .	619
6.2	Wirkungen der Verunreinigungen des Kesselwassers . . . . .	620
6.3	Speise- und Kesselwasserbeschaffenheit . . . . .	621
6.4	Wasseraufbereitungsanlagen . . . . .	621
6.5	Entgasung . . . . .	624
6.6	Verdampfung . . . . .	624
<b>M</b>	<b>Klimatechnik</b>	
<b>1</b>	<b>Grundlagen</b> . . . . .	<b>627</b>
1.1	Aufgabe . . . . .	627
1.2	Meteorologische Grundlagen . . . . .	627
1.2.1	Lufttemperatur 627. – 1.2.2 Luftfeuchte 627. – 1.2.3 Wind 629. – 1.2.4 Sonnenstrahlung 629.	
1.3	Hygienische Grundlagen . . . . .	629
1.3.1	Raumklima 629. – 1.3.2 Lüfterneuerung in Räumen 629. – 1.3.3 Behagliches Raumklima in Aufenthalts- und Arbeitsräumen 630. – 1.3.4 Erträgliches Raumklima in Arbeitsräumen und Industriebetrieben 631.	

1.4	<b>Kältetechnische Verfahren</b> . . . . .	631
	1.4.1 Allgemeines 631. – 1.4.2 Kaltdampf-Verdichtungsverfahren 632. – 1.4.3 Absorptionskälteverfahren 633. – 1.4.4 Dampfstrahlkälteverfahren 634. – 1.4.5 Kältemittel und Kältemaschinen-Öle 635.	
1.5	<b>Heiztechnische Verfahren</b> . . . . .	636
1.6	<b>Raumlufttechnische Verfahren</b> . . . . .	636
<b>2</b>	<b>Berechnungs- und Bemessungsgrundlagen der Heiz- und Raumlufttechnik</b> . . . . .	638
2.1	<b>Wärmebedarf</b> . . . . .	638
	2.1.1 Transmissions-Wärmebedarf 638. – 2.1.2 Lüftungswärmebedarf 638. – 2.1.3 Sonderfälle 640.	
2.2	<b>Kühllast</b> . . . . .	640
	2.2.1 Innere Kühllast 640. – 2.2.2 Äußere Kühllast 640.	
2.3	<b>Luftbedarf</b> . . . . .	641
	2.3.1 Luftfeuchte 641. – 2.3.2 Lüftung 642. – 2.3.3 Luftkühlung 642. – 2.3.4 Klimaanlage 643.	
2.4	<b>Leitungen</b> . . . . .	643
	2.4.1 Rohrnetz für Warm- und Heißwasserleitungen 643. – 2.4.2 Rohrnetz für Dampfheizungen 644. – 2.4.3 Kanalnetz für raumlufttechnische Anlagen 644. – 2.4.4 Luftführung im Raum 644.	
<b>3</b>	<b>Systeme und Bauteile der Heizungstechnik</b> . . . . .	646
3.1	<b>Einzelheizung</b> . . . . .	646
	3.1.1 Einzelheizgeräte für Wohnräume 646. – 3.1.2 Einzelheizgeräte für größere Räume und Hallen 647.	
3.2	<b>Zentralheizung</b> . . . . .	647
	3.2.1 Systeme 647. – 3.2.2 Raum-Heizkörper, Heizflächen 648. – 3.2.3 Rohrnetz 650. – 3.2.4 Armaturen 651. – 3.2.5 Umwälzpumpen 652. – 3.2.6 Wärmeerzeugung 653. – 3.2.7 Heizzentrale 656. – 3.2.8 Regelung und Steuerung 657. – 3.2.9 Wärmeverbrauchs-Ermittlung 658.	
<b>4</b>	<b>Systeme und Bauteile der Raumlufttechnik</b> . . . . .	660
4.1	<b>Einrichtungen zur freien Lüftung</b> . . . . .	660
	4.1.1 Fensterlüftung 660. – 4.1.2 Schachtlüftung 660. – 4.1.3 Dachaufsatzlüftung 660. – 4.1.4 Freie Lüftung verstärkt durch Ventilatoren 661.	
4.2	<b>Raumlufttechnische Anlagen</b> . . . . .	661
	4.2.1 Systeme 661. – 4.2.2 Luftführung und Luftdurchlaß 663. – 4.2.3 Kanalnetz 667. – 4.2.4 Luftverteilung 669. – 4.2.5 Lüftungs- und Klimazentralen 670. – 4.2.6 Ventilator 671. – 4.2.7 Filter 672. – 4.2.8 Lufterhitzer, Kühler 675. – 4.2.9 Luftbefeuchter 675. – 4.2.10 Luftentfeuchter 677. – 4.2.11 Schalldämpfer 677. – 4.2.12 Nachbehandlungsgeräte mit Luftförderung 678. – 4.2.13 Wärmerückgewinnung 679. – 4.2.14 Schaltung und Regelung 680.	
<b>5</b>	<b>Systeme und Bauteile der kältetechnischen Anlagen</b> . . . . .	682
5.1	<b>Bauarten, Leistungsbereiche und Bemessungsgrundlagen</b> . . . . .	682
5.2	<b>Direktverdampfungsanlagen</b> . . . . .	685
	5.2.1 Aufbau 685. – 5.2.2 Hauptteile 685. – 5.2.3 Inbetriebnahme 686. – 5.2.4 Splitsystem 686.	
5.3	<b>Wasserkühlanlagen</b> . . . . .	687
	5.3.1 Aufbau 687. – 5.3.2 Kolbenverdichter – Kaltwassersatz 687. – 5.3.3 Schraubenverdichter – Kaltwassersatz 687. – 5.3.4 Turboverdichter – Kaltwassersatz 688. – 5.3.5 Absorptionskaltwassersatz (H <sub>2</sub> O/LiBr) 689.	
5.4	<b>Verflüssigerkühlung</b> . . . . .	690
	5.4.1 Luftkühlung 690. – 5.4.2 Stadt- oder Brunnenwasserkühlung 690. – 5.4.3 Wasserrückkühlwerke 690.	
5.5	<b>Kaltwassernetz</b> . . . . .	691
	5.5.1 Regelung und Schaltung 691. – 5.5.2 Fernkältezentralen 692. – 5.5.3 Druckhaltung 692. – 5.5.4 Kälteschutzisolierung 693.	
5.6	<b>Rückkühlwassernetze</b> . . . . .	693
	5.6.1 Schaltungen 693. – 5.6.2 Wasseraufbereitung 693.	
<b>6</b>	<b>Systeme und Bauteile für Wärmepumpenanlagen</b> . . . . .	694
6.1	<b>Allgemeines</b> . . . . .	694
6.2	<b>Arten und Bauteile</b> . . . . .	694
6.3	<b>Systeme</b> . . . . .	695
	6.3.1 Dezentrales Wärmepumpensystem 695. – 6.3.2 Zentrale Wärmepumpe 696. – 6.3.3 Verdichtungswärmepumpe mit Gasmotor 697. – 6.3.4 Absorptionswärmepumpen 697.	
<b>7</b>	<b>Sonderklimaanlagen</b> . . . . .	698
<b>8</b>	<b>Wirtschaftlichkeit und Energieverbrauch</b> . . . . .	699
8.1	<b>Allgemeines</b> . . . . .	699

8.2	Kältetechnik . . . . .	699
8.2.1	Elektrisch angetriebene Verdichtungskälteanlage oder Absorptionskälteanlage 699. –	
8.2.2	Energiekostenvergleich zwischen Wärmepumpen und Gaskessel 700.	
8.3	Heiz- und Raumlufttechnik . . . . .	700
8.3.1	Kapitaldienst 700. – 8.3.2 Energieverbrauch 700. – 8.3.3 Bedienung und Instandhaltung 702.	
<b>N Energiewirtschaft</b>		
<b>1</b>	<b>Planung der Energieversorgung . . . . .</b>	<b>703</b>
1.1	Investitionsaufwand . . . . .	703
1.2	Zukünftige Energieversorgungsanlage . . . . .	704
1.2.1	Energieeinsparung 704. – 1.2.2 Neue Primärenergien 704.	
<b>2</b>	<b>Primärenergien und ihre Aufbereitung . . . . .</b>	<b>705</b>
2.1	Primärenergien . . . . .	705
2.2	Aufbereitung . . . . .	706
2.2.1	Kohleveredlung 706. – 2.2.2 Rohöl 706. – 2.2.3 Erdgas 706.	
<b>3</b>	<b>Wandlung von Primärenergie in Nutzenergie . . . . .</b>	<b>706</b>
3.1	Erzeugung elektrischer Energie . . . . .	706
3.1.1	Anlagenbereiche 706. – 3.1.2 Kernenergiekraftwerke 709. – 3.1.3 Gasturbinen 709. – 3.1.4 Motoren 711.	
3.2	Kraftwärmekopplung . . . . .	712
<b>4</b>	<b>Verteilen und Umformen der Nutzenergie . . . . .</b>	<b>713</b>
4.1	Fernenergie . . . . .	713
4.2	Fernwärme . . . . .	713
4.2.1	Heizkraftwerke 713. – 4.2.2 Fernheizung 714.	
4.3	Elektrische Heizung . . . . .	714
4.3.1	Speicherheizung 714. – 4.3.2 Tagesstromheizung 715.	
4.4	Energiespeicherung . . . . .	715
4.5	Energietransport . . . . .	716
4.5.1	Rohrleitungstransport 716. – 4.5.2 Ferntransport elektrischer Energie 718.	
<b>O Maschinendynamik</b>		
<b>1</b>	<b>Kurbelbetrieb, Massenkräfte und -momente, Schwungradberechnung . . . . .</b>	<b>719</b>
1.1	Drehkraftdiagramm Mehrzylindermaschinen . . . . .	719
1.2	Schwungradberechnung . . . . .	719
1.3	Massenkräfte, Massenmomente . . . . .	721
1.3.1	Reihenmaschinen 721. – 1.3.2 V- und Fächer-Maschinen 725.	
<b>2</b>	<b>Schwingungen . . . . .</b>	<b>728</b>
2.1	Drehschwingungen . . . . .	728
2.1.1	Massenträgheitsmoment 728. – 2.1.2 Drehfederkonstante 728. – 2.1.3 Bewegungsgleichungen 728. –	
2.1.4	Eigenschwingungen 730. – 2.1.5 Erregende Momente bei Kolbenmaschinen 731. – 2.1.6 Sonstige	
2.1.7	Erzwungene Schwingungen bei harmonischer Erregung 732. –	
2.1.8	Einschwingvorgänge 733. – 2.1.9 Dämpfung, Tilgung 733.	
2.2	Biegeschwingungen von Maschinenwellen . . . . .	734
2.2.1	Berechnungsmodelle 734. – 2.2.2 Gleitlager 734. – 2.2.3 Umwuchtschwingungen 735. –	
2.2.4	Berechnung der 1. kritischen Drehzahl 735. – 2.2.5 Elastische Lager 735. – 2.2.6 Drehträgheit	
2.2.7	und Kreiselwirkung 735. – 2.2.7 Verschiedenes 736.	
2.3	Schwingungsisolierung . . . . .	736
2.4	Auswuchten . . . . .	737
2.4.1	Einleitung 737. – 2.4.2 Auswuchten starrer Körper 738. – 2.4.3 Auswuchten elastischer Rotoren	
2.4.4	738. – 2.4.4 Auswuchtgüte 738.	
<b>3</b>	<b>Maschinenakustik . . . . .</b>	<b>739</b>
3.1	Grundbegriffe . . . . .	739
3.2	Die Entstehung von Maschinengeräuschen . . . . .	741
3.3	Möglichkeiten zur Verminderung der Maschinengeräusche . . . . .	743

**P Kolbenmaschinen**

<b>1 Allgemeine Grundbegriffe</b> . . . . .	747
1.1 Die Hubkolbenmaschine . . . . .	748
1.1.1 Arbeitsverfahren 748. – 1.1.2 Berechnungsgrundlagen 749.	
1.2 Ähnlichkeitsbetrachtungen . . . . .	751
1.3 Bäureihen . . . . .	752
1.4 Konstruktive Gestaltung . . . . .	753
1.4.1 Gestelle und Grundplatten 754. – 1.4.2 Zylinder und Deckel 755.	
1.5 Kühlung und Schmierung . . . . .	756
1.5.1 Kühlung 756. – 1.5.2 Schmierung 756.	
<b>2 Pumpen</b> . . . . .	757
2.1 Arbeitsweise, Arten und Verwendung . . . . .	757
2.2 Berechnungsunterlagen . . . . .	758
2.2.1 Ströme und Liefergrad 758. – 2.2.2 Höhen, Geschwindigkeiten und Drücke 758. –	
2.2.3 Strömungsverluste 759. – 2.2.4 Saugfähigkeit 760. – 2.2.5 Gestängekräfte 760. – 2.2.6 Energien,	
Leistungen, Wirkungsgrade 761.	
2.3 Kennlinien . . . . .	762
2.4 Windkessel . . . . .	762
2.4.1 Fluktuierende Flüssigkeit 762. – 2.4.2 Schwingungen 763. – 2.4.3 Aufbau 763.	
2.5 Bauteile . . . . .	764
2.5.1 Kolben 764. – 2.5.2 Steuerungen 765. – 2.5.3 Stopfbuchsen 766.	
2.6 Betrieb einer Pumpenanlage . . . . .	767
2.7 Ausgeführte Pumpe . . . . .	768
<b>3 Kompressoren</b> . . . . .	768
3.1 Arbeitsweise, Arten und Verwendung . . . . .	768
3.2 Einstufige Verdichtung . . . . .	769
3.2.1 Drücke und Temperaturen 769. – 3.2.2 Schadraum 769. – 3.2.3 Volumina und Massen 769. –	
3.2.4 Liefergrad 770. – 3.2.5 Der Arbeitsvorgang 772. – 3.2.6 Leistungen und Wirkungsgrade 773.	
3.3 Mehrstufige Verdichtung . . . . .	775
3.3.1 Drücke und Temperaturen 775. – 3.3.2 Ströme und Leistungen 775.	
3.4 Bauarten . . . . .	776
3.4.1 Konstruktionsgrundsätze 776. – 3.4.2 Stufenverteilung 776.	
3.5 Auslegung und Betriebsverhalten . . . . .	778
3.5.1 Auslegung 778. – 3.5.2 Betriebsverhalten 779.	
3.6 Steuerungen . . . . .	781
3.6.1 Aufbau und Wirkungsweise 781. – 3.6.2 Berechnung 782. – 3.6.3 Ventileinbau 783.	
3.7 Regelungen . . . . .	784
3.7.1 Zweipunktregelung 784. – 3.7.2 Stetige Regelungen 786.	
3.8 Ausgeführte Verdichter . . . . .	787
3.9 Sonderformen der Kolbenverdichter . . . . .	789
3.9.1 Rotationsverdichter 789. – 3.9.2 Schraubenverdichter 789.	
<b>4 Verbrennungsmotoren</b> . . . . .	791
4.1 Einteilung und Verwendung . . . . .	791
4.2 Arbeitsverfahren und Arbeitsprozesse . . . . .	792
4.2.1 Arbeitsverfahren 792. – 4.2.2 Vergleichsprozesse 792. – 4.2.3 Wirklicher Arbeitsprozeß 794.	
4.3 Ladungswechsel . . . . .	797
4.3.1 Kenngrößen des Ladungswechsels 797. – 4.3.2 Steuerorgane für den Ladungswechsel 798. –	
4.3.3 Ladungswechsel des Viertaktmotors 799. – 4.3.4 Ladungswechsel des Zweitaktmotors 800. –	
4.3.5 Aufladung von Motoren 801.	
4.4 Verbrennung im Motor . . . . .	803
4.4.1 Motoren-Kraftstoffe 803. – 4.4.2 Gemischbildung und Verbrennung im Ottomotor 804. –	
4.4.3 Gemischbildung und Verbrennung im Dieselmotor 805. – 4.4.4 Gemischbildung und Verbrennung	
in Hybridmotoren 807.	
4.5 Einrichtungen zur Gemischbildung und Zündung bei Ottomotoren . . . . .	808
4.5.1 Vergaser 808. – 4.5.2 Benzin-Einspritzung 809. – 4.5.3 Zündausrüstung 810.	

4.6	Einrichtungen zur Gemischbildung und Zündung bei Dieselmotoren . . . . .	811
	4.6.1 Einspritzsystem 811. – 4.6.2 Einspritzpumpe 811. – 4.6.3 Einspritzdüse 812. – 4.6.4 Start- und Zündhilfen 813.	
4.7	Betriebsverhalten und Kenngrößen . . . . .	813
	4.7.1 Leistung, Drehmoment und Verbrauch 813. – 4.7.2 Kenngrößen 814. – 4.7.3 Umweltverhalten 815. – 4.7.4 Verbrennungsmotor als Antriebsaggregat 817.	
4.8	Konstruktion von Motoren . . . . .	820
	4.8.1 Ähnlichkeitsbeziehungen und Beanspruchung 820. – 4.8.2 Motorbauarten 820. – 4.8.3 Motorbauteile 822. – 4.8.4 Ausgeführte Motorkonstruktionen 824.	
4.9	Philips-Stirling-Motor . . . . .	828
<b>Q</b>	<b>Kraftfahrzeugtechnik</b>	
<b>1</b>	<b>Grundlagen</b> . . . . .	831
1.1	Bauformen . . . . .	831
1.2	Fahrwiderstände . . . . .	832
	1.2.1 Rollwiderstand $W_R$ 832. – 1.2.2 Luftwiderstand $W_L$ 832. – 1.2.3 Seitenkraftwiderstand $W_S$ 832. – 1.2.4 Steigungswiderstand $W_G$ 832. – 1.2.5 Beschleunigungswiderstand $W_B$ 832. – 1.2.6 Gesamtwiderstand $W$ 832. – 1.2.7 Fahrleistungen 833.	
<b>2</b>	<b>Konstruktionselemente</b> . . . . .	833
2.1	Kraftübertragung . . . . .	833
	2.1.1 Kupplung 833. – 2.1.2 Getriebe 834. – 2.1.3 Gelenkwellen 835. – 2.1.4 Achsantrieb 835. – 2.1.5 Übertragungsverluste 837	
2.2	Bremsen . . . . .	837
	2.2.1 Grundlagen 837. – 2.2.2 Bauarten 838. – 2.2.3 Bremsbetätigung 838.	
2.3	Radführung und Lenkung . . . . .	839
	2.3.1 Radführung und Federung 839. – 2.3.2 Lenkung 840.	
2.4	Räder und Reifen . . . . .	841
	2.4.1 Räder 841. – 2.4.2 Reifen 841.	
2.5	Aufbau . . . . .	843
	2.5.1 Konzept 843. – 2.5.2 Robbau 843. – 2.5.3 Ausstattung 843. – 2.5.4 Klimatisierung 843. – 2.5.5 Akustik 844.	
<b>3</b>	<b>Federung und Fahrkomfort</b> . . . . .	845
3.1	Fahrbahn . . . . .	845
3.2	Fahrzeugmodelle . . . . .	845
	3.2.1 Nichtlinearitäten 846. – 3.2.2 Zweifachfahrzeuge (Mehrachsfahrzeuge) 847. – 3.2.3 Fahrkomfort 847.	
<b>4</b>	<b>Lenkverhalten</b> . . . . .	848
4.1	Fahrzeug als Regelstrecke . . . . .	848
	4.1.1 Stationäres Lenkverhalten 848. – 4.1.2 Übergangverhalten 849.	
4.2	Fahrer und Fahrzeug . . . . .	849
4.3	Breitenbedarf in Kurven . . . . .	851
<b>5</b>	<b>Unfallmechanik</b> . . . . .	851
5.1	Grundlagen . . . . .	851
5.2	Maßnahmen zur Verminderung der Verletzungsgefahr . . . . .	852
<b>R</b>	<b>Strömungsmaschinen</b>	
<b>1</b>	<b>Gemeinsame Grundlagen</b> . . . . .	855
1.1	Strömungstechnik . . . . .	855
	1.1.1 Aufgabe und Einteilung 855. – 1.1.2 Wirkungsweise 855. – 1.1.3 Strömungsgesetze 856. – 1.1.4 Absolute und relative Strömung 857. – 1.1.5 Schaufelanordnung für Pumpen und Verdichter 857. – 1.1.6 Schaufelanordnung für Turbinen 857. – 1.1.7 Schaufelgitter, Stufe, Maschine, Anlage 857.	
1.2	Thermodynamik . . . . .	858
	1.2.1 Thermodynamische Gesetze 858. – 1.2.2 Zustandsänderung 858. – 1.2.3 Totaler Wirkungsgrad 858. – 1.2.4 Statischer Wirkungsgrad 859. – 1.2.5 Polytroper und isentroper Wirkungsgrad 859. – 1.2.6 Mechanische Verluste 860.	

1.3	<b>Arbeitsfluid</b> . . . . .	860
	1.3.1 Allgemeiner Zusammenhang zwischen thermischen und kalorischen Zustandsgrößen 860. –	
	1.3.2 Ideale Flüssigkeit 860. – 1.3.3 Ideales Gas 861. – 1.3.4 Reales Fluid 862. – 1.3.5 Kavitation bei Flüssigkeiten 862. – 1.3.6 Kondensation bei Dämpfen 862.	
1.4	<b>Schaufelgitter</b> . . . . .	862
	1.4.1 Anordnung der Schaufeln im Gitter 862. – 1.4.2 Leit- und Laufgitter 863. – 1.4.3 Einteilung nach Geschwindigkeits- und Druckänderung 863. – 1.4.4 Strömung durch Gitter 864. – 1.4.5 Gitter-Kenngrößen 865. – 1.4.6 Kriterien für die zweckmäßige Stellung der Schaufeln im Gitter 867. – 1.4.7 Profilverluste 867. – 1.4.8 Verluste an den Schaufelenden 868.	
1.5	<b>Stufen</b> . . . . .	868
	1.5.1 Zusammensetzen von Gittern zu Stufen 868. – 1.5.2 Gegenseitige Beeinflussung der Lauf- und Leitgitter 869. – 1.5.3 Stufenkenngrößen 870. – 1.5.4 Axiale Repetierstufe eines vielstufigen Verdichters 871. – 1.5.5 Radiale Repetierstufe eines Verdichters 871. – 1.5.6 Kenngrößen-Bereiche für Verdichterstufen 871. – 1.5.7 Axiale Repetierstufen einer Turbine 871. – 1.5.8 Radiale Turbinenstufe 872. – 1.5.9 Kenngrößen-Bereiche für Turbinenstufen 873.	
1.6	<b>Maschine</b> . . . . .	873
	1.6.1 Beschauelung, Ein- und Austrittsgehäuse 873. – 1.6.2 Maschinenkenngrößen 874. – 1.6.3 Wahl der Bauweise 874.	
1.7	<b>Betriebsverhalten und Regelmöglichkeiten</b> . . . . .	875
	1.7.1 Maschinencharakteristiken 875. – 1.7.2 Instabiler Betriebsbereich bei Verdichtern 876. – 1.7.3 Anlagencharakteristik 877. – 1.7.4 Zusammenarbeit von Maschine und Anlage 877. – 1.7.5 Regelung von Verdichtern 877. – 1.7.6 Regelung von Turbinen 878.	
1.8	<b>Beanspruchung und Festigkeit der wichtigsten Bauteile</b> . . . . .	878
	1.8.1 Rotierende Scheibe, rotierender Zylinder 879. – 1.8.2 Durchbiegung, kritische Drehzahlen von Rotoren 879. – 1.8.3 Beanspruchung der Schaufeln durch Fliehkräfte 880. – 1.8.4 Beanspruchung der Schaufeln durch stationäre Strömungskräfte 880. – 1.8.5 Schaufelschwingungen 881. – 1.8.6 Gehäuse 882. – 1.8.7 Thermische Beanspruchung 883. – 1.8.8 Werkstoffeigenschaften 883.	
<b>2</b>	<b>Wasserturbinen</b> . . . . .	885
2.1	<b>Allgemeines</b> . . . . .	885
	2.1.1 Kennzeichen 885. – 2.1.2 Wasserkraftwerke 885. – 2.1.3 Wirtschaftliches 886.	
2.2	<b>Gleichdruckturbinen</b> . . . . .	886
	2.2.1 Peltonturbinen 886. – 2.2.2 Ossbergerturbinen 887.	
2.3	<b>Überdruckturbinen</b> . . . . .	887
	2.3.1 Francisturbinen 887. – 2.3.2 Kaplanurbinen 887. – 2.3.3 Dériazturbinen 888.	
2.4	<b>Werkstoffe</b> . . . . .	888
2.5	<b>Kennliniendarstellungen</b> . . . . .	889
2.6	<b>Extreme Betriebsverhältnisse</b> . . . . .	890
2.7	<b>Laufwasser- und Speicherkraftwerke</b> . . . . .	890
<b>3</b>	<b>Kreiselpumpen</b> . . . . .	891
3.1	<b>Allgemeines</b> . . . . .	891
3.2	<b>Bauarten</b> . . . . .	891
	3.2.1 Laufrad 891. – 3.2.2 Gehäuse 892. – 3.2.3 Fluid 893. – 3.2.4 Werkstoff 893. – 3.2.5 Antrieb 893.	
3.3	<b>Betriebsverhalten</b> . . . . .	893
	3.3.1 Kavitation 893. – 3.3.2 Kennlinien 895. – 3.3.3 Anpassung der Kreiselpumpe an den Leistungsbedarf 896. – 3.3.4 Achsschubausgleich 897.	
3.4	<b>Ausgeführte Pumpen</b> . . . . .	899
<b>4</b>	<b>Propeller</b> . . . . .	901
4.1	<b>Vorbemerkungen</b> . . . . .	901
4.2	<b>Schiffspropeller</b> . . . . .	901
4.3	<b>Flugzeugpropeller</b> . . . . .	902
4.4	<b>Hubschrauberrotoren</b> . . . . .	903
<b>5</b>	<b>Föttinger-Getriebe</b> . . . . .	904
5.1	<b>Prinzip und Bauformen</b> . . . . .	904
5.2	<b>Auslegung</b> . . . . .	904
5.3	<b>Föttinger-Kupplungen</b> . . . . .	905
5.4	<b>Föttinger-Wandler</b> . . . . .	905
<b>6</b>	<b>Dampfturbinen</b> . . . . .	908
6.1	<b>Benennungen</b> . . . . .	908

6.2	<b>Bauarten</b> . . . . .	908
	6.2.1 Kraftwerksturbinen 908. – 6.2.2 Industrieturbinen 911. – 6.2.3 Kleinturbinen 914. . . . .	
6.3	<b>Konstruktionselemente</b> . . . . .	914
	6.3.1 Gehäuse 914. – 6.3.2 Ventile und Klappen 914. – 6.3.3 Beschauflung 916. – 6.3.4 Wellendichtungen 916. – 6.3.5 Läufer-Dreheinrichtung 917. – 6.3.6 Lager 917. . . . .	
6.4	<b>Anfahren und Betrieb</b> . . . . .	917
6.5	<b>Regelung, Sicherheits- und Schutzeinrichtungen</b> . . . . .	918
6.6	<b>Berechnungsverfahren</b> . . . . .	918
	6.6.1 Allgemeines 918. – 6.6.2 Auslegung von Industrieturbinen 918. . . . .	
<b>7</b>	<b>Turboverdichter</b> . . . . .	919
7.1	<b>Definition und Einsatzbereich</b> . . . . .	919
7.2	<b>Ventilatoren</b> . . . . .	920
7.3	<b>Radialverdichter</b> . . . . .	920
7.4	<b>Axialverdichter</b> . . . . .	921
7.5	<b>Konstruktion</b> . . . . .	921
7.6	<b>Arbeitsweise und Auslegung</b> . . . . .	922
7.7	<b>Betriebsweise</b> . . . . .	922
7.8	<b>Berechnung</b> . . . . .	923
7.9	<b>Leistungsversuch</b> . . . . .	925
<b>8</b>	<b>Gasturbinen</b> . . . . .	926
8.1	<b>Die Gasturbine als Wärmekraftmaschine</b> . . . . .	926
8.2	<b>Thermodynamische Grundlagen</b> . . . . .	927
	8.2.1 Reversible Kreisprozesse mit idealen Gasen 927. – 8.2.2 Reale Gasturbinenprozesse 927. – 8.2.3 Ergebnisse der Berechnungen 930. . . . .	
8.3	<b>Bauteile der Anlage</b> . . . . .	930
	8.3.1 Turbomaschinen 930. – 8.3.2 Brennkammern 931. – 8.3.3 Wärmetauscher 932. . . . .	
8.4	<b>Gasturbinen in Schwerbauweise und von Flugtriebwerken abgeleitete Gasturbinen</b> . . . . .	932
8.5	<b>Hilfssysteme</b> . . . . .	933
	8.5.1 Regelung 933. – 8.5.2 Brennstoffversorgung 933. – 8.5.3 Schmierölssystem 934. – 8.5.4 Weitere Betriebssysteme 934. . . . .	
8.6	<b>Anwendungen</b> . . . . .	935
	8.6.1 Stromerzeugung 935. – 8.6.2 Rohrfernleitungen 935. – 8.6.3 Verkehr 935. . . . .	
8.7	<b>Betrieb</b> . . . . .	937
	8.7.1 Teillastbetrieb 937. – 8.7.2 Besondere Betriebszustände. Wartung 938. . . . .	
8.8	<b>Korrosion, Erosion und Verschmutzung</b> . . . . .	939
8.9	<b>Werkstoffe</b> . . . . .	939
8.10	<b>Umweltaspekte</b> . . . . .	940
	8.10.1 Schadstoffe 940. – 8.10.2 Lärm 941. . . . .	
<b>S</b>	<b>Fertigungstechnik</b> . . . . .	
<b>1</b>	<b>Übersicht über die Fertigungstechnik</b> . . . . .	943
<b>2</b>	<b>Urformen</b> . . . . .	945
2.1	<b>Formgebung durch Gießen (Metalle)</b> . . . . .	945
	2.1.1 Allgemeines 945. – 2.1.2 Modelle und Formen 946. – 2.1.3 Verfahren der Form- und Gießtechnik 948. – 2.1.4 Gestaltungsrichtlinien 950. – 2.1.5 Vorbereitende und nachbehandelnde Arbeitsvorgänge 951. . . . .	
2.2	<b>Formgebung von Kunststoffen</b> . . . . .	953
	2.2.1 Pressen 954. – 2.2.2 Spritzgießen 955. – 2.2.3 Extrudieren 955. . . . .	
2.3	<b>Pulvermetallurgie</b> . . . . .	955
	2.3.1 Anwendung 956. – 2.3.2 Technologie 956. . . . .	
2.4	<b>Weitere Urformverfahren</b> . . . . .	958
	2.4.1 Galvanoformung 958. – 2.4.2 Chemoformung 959. . . . .	

<b>3</b>	<b>Umformen</b>	959
3.1	Systematik und Einführung	959
3.2	Grundlagen der Umformtechnik	962
	3.2.1 Metallkundliche Grundlagen 962. – 3.2.2 Plastizitätstheoretische Grundlagen 962. –	
	3.2.3 Lösungsverfahren der Plastomechanik 962. – 3.2.4 Reibung und Schmierung 963. –	
	3.2.5 Oberflächenwandlung 963.	
3.3	Technologie	963
	3.3.1 Massivumformen 963. – 3.3.2 Blechumformung 970. – 3.3.3 Umformen unter besonderen Bedingungen 974.	
3.4	Werkzeugmaschinen zum Umformen	975
	3.4.1 Kenngrößen vor Preßmaschinen 975. – 3.4.2 Weggebundene Preßmaschinen 975. –	
	3.4.3 Kraftgebundene Preßmaschinen 980. – 3.4.4 Arbeitgebundene Preßmaschinen 981. –	
	3.4.5 Arbeitssicherheit 984. – 3.4.6 Automatisierung 985.	
<b>4</b>	<b>Trennen</b>	986
4.1	Allgemeines	986
4.2	Scheren und Schneiden	986
	4.2.1 Systematik 986. – 4.2.2 Technologie 987. – 4.2.3 Kräfte und Arbeiten 988. –	
	4.2.4 Werkstückeigenschaften 988. – 4.2.5 Werkzeuge 988. – 4.2.6 Sonderschneidverfahren 990.	
4.3	Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden	991
	4.3.1 Grundlagen 991. – 4.3.2 Drehen 992. – 4.3.3 Hobeln und Stoßen 993. – 4.3.4 Bohren 994. –	
	4.3.5 Fräsen 995. – 4.3.6 Sägen 997. – 4.3.7 Räumen 998. – 4.3.8 Zerspankräfte 999. – 4.3.9 Richtwerte für spanende Bearbeitung 1001.	
4.4	Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden	1002
	4.4.1 Grundlagen 1002. – 4.4.2 Schleifen 1003. – 4.4.3 Honen 1004. – 4.4.4 Läppen 1005. –	
	4.4.5 Sonderverfahren 1005.	
4.5	Abtragen	1006
	4.5.1 Übersicht 1006. – 4.5.2 Thermisches Abtragen mit Funken (Funkenerosives Abtragen) 1006. –	
	4.5.3 Chemisches Abtragen 1007. – 4.5.4 Elektrochemisches Abtragen 1007.	
4.6	Zerlegen, Reinigen, Evakuieren	1008
4.7	Spanende Werkzeugmaschinen	1009
	4.7.1 Maschinen zum Scheren und Schneiden 1009. – 4.7.2 Drehmaschinen 1010. – 4.7.3 Bohrmaschinen 1021. – 4.7.4 Fräsmaschinen 1024. – 4.7.5 Waagrecht-Bohr- und -Fräsmaschinen 1027. –	
	4.7.6 Bearbeitungszentren 1028. – 4.7.7 Hobel- und Stoßmaschinen 1030. – 4.7.8 Räummaschinen 1031. –	
	4.7.9 Säge- und Feilmaschinen 1032. – 4.7.10 Schleifmaschinen 1034. – 4.7.11 Honmaschinen 1036. –	
	4.7.12 Läppmaschinen 1038. – 4.7.13 Baueinheiten für Werkzeugmaschinen 1040.	
<b>5</b>	<b>Fügen</b>	1041
5.1	Übersicht	1041
5.2	Schweiß- und Lötmaschinen	1042
	5.2.1 Lichtbogenschweißmaschinen 1042. – 5.2.2 Widerstandsschweißmaschinen 1044. –	
	5.2.3 Löt einrichtungen 1044.	
<b>6</b>	<b>Beschichten</b>	1045
<b>7</b>	<b>Stoffeigenschaftändern</b>	1046
<b>8</b>	<b>Sonderverfahren</b>	1047
8.1	Gewindefertigung	1047
	8.1.1 Gewindedrehen 1047. – 8.1.2 Gewindestrehlen 1047. – 8.1.3 Gewindecshneiden 1047. –	
	8.1.4 Gewindebohren 1047. – 8.1.5 Gewindewirbeln 1048. – 8.1.6 Gewindefräsen 1048. –	
	8.1.7 Gewindecshleifen 1049. – 8.1.8 Gewindecrodieren 1049. – 8.1.9 Gewindecwalzen 1049. –	
	8.1.10 Gewindecfurchen 1050. – 8.1.11 Gewindecdrücken 1050.	
8.2	Verzahnmaschinen	1050
	8.2.1 Verzahnen von Stirnrädern 1050. – 8.2.2 Verzahnen von Schnecken 1055. – 8.2.3 Verzahnen von Schneckenrädern 1057. – 8.2.4 Verzahnen von Kegelnrädern 1058.	
<b>9</b>	<b>Elemente der Werkzeugmaschinen</b>	1060
9.1	Grundlagen	1060
	9.1.1 Werkstück, Werkzeug, Arbeitsraum 1060. – 9.1.2 Wirkbewegungen 1060.	
9.2	Antriebe	1062
	9.2.1 Motoren 1062. – 9.2.2 Getriebe 1064. – 9.2.3 Mechanische Übertragungselemente 1068.	
9.3	Gestelle	1070
	9.3.1 Allgemeines, Kraftfluß 1070. – 9.3.2 Statische und dynamische Steifigkeit 1070. – 9.3.3 Gestaltung der Gestellteile 1071.	

9.4	Führungen . . . . .	1072
9.4.1	Geradf Führungen 1072. – 9.4.2 Drehführungen, Lagerungen 1074.	
9.5	Steuerungen . . . . .	1077
9.5.1	Einführung 1077. – 9.5.2 Steuermedien 1079. – 9.5.3 Programmsteuerung mit analogem Speicher 1081. – 9.5.4 Programmsteuerung mit digitalem Speicher 1083.	
<b>10</b>	<b>Fertigungs- und Fabrikbetrieb . . . . .</b>	<b>1087</b>
10.1	Arbeitsvorbereitung . . . . .	1088
10.1.1	Fertigungsplanung 1088. – 10.1.2 Fertigungssteuerung 1090.	
10.2	Fertigungssysteme . . . . .	1092
10.2.1	Das System „Fertigung“ 1092. – 10.2.2 Automatisierung von Handhabungsfunktionen 1093. – 10.2.3 Transferstraßen und automatische Fertigungslinien 1094. – 10.2.4 Flexible Fertigungssysteme 1095.	
10.3	Qualitätswesen . . . . .	1095
10.3.1	Aufgaben des Qualitätswesens 1095. – 10.3.2 Prüfmittel für geometrische Größen 1096. – 10.3.3 Statische Methoden zur Qualitätssicherung 1096.	
10.4	Betriebliche Kostenrechnung . . . . .	1096
10.4.1	Grundlagen der betrieblichen Kostenrechnung 1096. – 10.4.2 Kostenartenrechnung 1097. – 10.4.3 Kostenstellenrechnung und Betriebsabrechnungsbogen 1097. – 10.4.4 Maschinenstundensatzrechnung 1098. – 10.4.5 Kalkulation 1098.	
10.5	Arbeitswissenschaftliche Grundlagen . . . . .	1099
<b>T</b>	<b>Fördertechnik</b>	
<b>1</b>	<b>Grundlagen . . . . .</b>	<b>1101</b>
1.1	Begriffsbestimmungen . . . . .	1101
1.2	Die grundlegenden Förderverfahren . . . . .	1101
1.2.1	Das unstetige Förderverfahren 1101. – 1.2.2 Das stetige Förderverfahren 1102. – 1.2.3 Förderung mit Flurförderzeugen und-Gleisfahrzeugen 1102.	
<b>2</b>	<b>Hebezeuge und Krananlagen . . . . .</b>	<b>1103</b>
2.1	Konstruktionselemente . . . . .	1103
2.1.1	Ketten 1103. – 2.1.2 Seile 1103. – 2.1.3 Rollen und Trommeln 1106. – 2.1.4 Achsen, Wellen, Lager 1108. – 2.1.5 Kranschienen und Laufräder 1108. – 2.1.6 Gesperre und Bremsen 1110. – 2.1.7 Lastenaufnahmemittel 1113.	
2.2	Serienhebezeuge . . . . .	1116
2.2.1	Flaschenzüge 1116. – 2.2.2 Handwinden 1118.	
2.3	Motorisch angetriebene Wind- und Hubwerke . . . . .	1119
2.3.1	Motorleistung 1119. – 2.3.2 Stückgutwinden 1119. – 2.3.3 Greiferwinden 1119. – 2.3.4 Laufwinden (Laufkatzen) 1120. – 2.3.5 Sonderausführungen 1120.	
2.4	Antriebsmaschinen und Zubehör . . . . .	1121
2.4.1	Elektromotoren 1121. – 2.4.2 Elektrische Zusatzausrüstung 1122. – 2.4.3 Dieselmotoren 1122. – 2.4.4 Hydraulikantriebe 1122. – 2.4.5 Druckluftantriebe 1122.	
2.5	Krantragwerke . . . . .	1123
2.5.1	Allgemeines 1123. – 2.5.2 Grundsätze für Stahltragwerke 1123. – 2.5.3 Abnahmeprüfung von Krananlagen 1125.	
2.6	Kranformen . . . . .	1125
2.6.1	Brückenkrane (Laufkrane) 1125. – 2.6.2 Konsolkrane (Wand-Laufkrane) 1130. – 2.6.3 Bockkrane 1130. – 2.6.4 Verladebrücken 1131. – 2.6.5 Kabelkrane 1133. – 2.6.6 Drehkrane 1134.	
<b>3</b>	<b>Stetigförderer . . . . .</b>	<b>1142</b>
3.1	Förderprinzip, Einteilung, Leistungsfähigkeiten . . . . .	1142
3.2	Stetigförderer, Zug- und Tragorgan vereinigt (Gurtförderer) . . . . .	1143
3.2.1	Gurtarten 1143. – 3.2.2 Berechnungsgrundlagen 1143. – 3.2.3 Konstruktionselemente und Baugruppen 1146.	
3.3	Stetigförderer, Zug- und Tragorgan getrennt . . . . .	1150
3.3.1	Gliederrförderer 1150. – 3.3.2 Schneckenförderer 1154.	
3.4	Stetigförderer ohne Zugorgan, mit Energiezufuhr (Schwingförderer) . . . . .	1155
3.4.1	Schüttelrutschen 1155. – 3.4.2 Schwingrinnen 1155.	
3.5	Stetigförderer ohne Zugorgan und ohne Energiezufuhr (Schwerkraftförderer) . . . . .	1157
3.5.1	Rutschen 1157. – 3.5.2 Rollenbahnen 1157.	

3.6	Strömungsförderer . . . . .	1157
	3.6.1 Förderung im Luftstrom 1157. – 3.6.2 Förderung im Wasserstrom 1158. – 3.6.3 Förderung nach dem Lufthebeverfahren 1159. – 3.6.4 Berechnungsgrundlagen zur Strömungsförderung 1159.	
<b>4</b>	<b>Flurförderer . . . . .</b>	<b>1160</b>
4.1	Handfahrgeräte . . . . .	1160
	4.1.1 Karren 1160. – 4.1.2 Wagen 1160. – 4.1.3 Roller 1160.	
4.2	Motorisch angetriebene Stückgutförderer . . . . .	1160
	4.2.1 Wagen W 1161. – 4.2.2 Schlepper Z 1162. – 4.2.3 Gabelstapler 1162. – 4.2.4 Portalhubwagen und -stapler 1164. – 4.2.5 Fahrwiderstände 1164.	
4.3	Motorisch angetriebene Schüttgut-Flurförderer . . . . .	1165
	4.3.1 Schaufellader 1165. – 4.3.2 Schürfmaschinen 1167. – 4.3.3 Planiermaschinen 1168.	
<b>5</b>	<b>Lagertechnik . . . . .</b>	<b>1169</b>
5.1	Bildung von Ladeeinheiten . . . . .	1169
	5.1.1 Packstück 1169. – 5.1.2 Ladehilfsmittel 1170. – 5.1.3 Container 1171.	
5.2	Stückgutlagertechnik . . . . .	1171
	5.2.1 Lagersysteme 1171. – 5.2.2 Bauliche Gestaltung von Stückgutlagern (Gebäude) 1172. – 5.2.3 Lagermittel 1172. – 5.2.4 Fördermittel im Lager 1173. – 5.2.5 Handhabungseinrichtungen und Hilfseinrichtungen zur Bildung von Versandeinheiten 1174. – 5.2.6 Automatisierung 1174.	
5.3	Schüttgutlagertechnik . . . . .	1175
	5.3.1 Freilager 1175. – 5.3.2 Hallenlager 1175. – 5.3.3 Bunker (Silo) 1176.	
<b>U</b>	<b>Elektrotechnik</b>	
<b>1</b>	<b>Grundlagen der Elektrotechnik . . . . .</b>	<b>1177</b>
1.1	Elektrischer Strom . . . . .	1178
	1.1.1 Wärmewirkung 1178. – 1.1.2 Chemische Wirkung 1178. – 1.1.3 Magnetische Wirkung 1178. – 1.1.4 Kräfte im Magnetfeld 1178. – 1.1.5 Physiologische Wirkungen, elektrischer Unfall 1179.	
1.2	Elektrischer Stromkreis (Gleichstrom) . . . . .	1179
	1.2.1 Spannung und Widerstand, Ohmsches Gesetz 1179. – 1.2.2 Leiter, Halbleiter, Isolatoren, Supraleitung 1179. – 1.2.3 Leistung und Arbeit 1180. – 1.2.4 Stromverzweigungen, Kirchhoffsche Gesetze 1180.	
1.3	Magnetische Felder . . . . .	1181
	1.3.1 Erzeugung magnetischer Felder 1181. – 1.3.2 Magnetfelder von Spulen 1182. – 1.3.3 Materie im Magnetfeld 1182. – 1.3.4 Ohmsches Gesetz des magnetischen Kreises 1183. – 1.3.5 Energie im Magnetfeld, Hysteresis 1183. – 1.3.6 Dauermagnete 1183. – 1.3.7 Magnetische Kräfte 1184. – 1.3.8 Kräfte an stromdurchflossenen Leitern 1184.	
1.4	Elektrische Felder . . . . .	1185
	1.4.1 Analogie zu magnetischen Feldern 1185. – 1.4.2 Kondensator, Kapazität 1185. – 1.4.3 Isolierstoffe, Durchschlag 1186. – 1.4.4 Elektrostatische Kräfte 1186. – 1.4.5 Nutzenanwendungen elektrischer Felder 1186.	
1.5	Elektromagnetische Schwingungen . . . . .	1187
1.6	Erzeugung elektrischer Spannungen . . . . .	1188
	1.6.1 Thermospannung, Reibungselektrizität 1188. – 1.6.2 Elektrochemische Spannungserzeugung 1188. – 1.6.3 Elektromagnetische Induktion 1190. – 1.6.4 Sonstige Verfahren 1191.	
1.7	Wechselspannung, Wechselstrom . . . . .	1193
	1.7.1 Grundgesetze des Wechselstroms 1193. – 1.7.2 Induktivität im Wechselstromkreis 1194. – 1.7.3 Kapazität im Wechselstromkreis 1195. – 1.7.4 Netzwerke 1195. – 1.7.5 Leistung 1197.	
1.8	Dreiphasensystem, Drehstrom . . . . .	1197
	1.8.1 Stern- und Dreieckschaltung 1197. – 1.8.2 Leistung 1198.	
1.9	Schaltvorgänge . . . . .	1199
	1.9.1 Schaltvorgänge bei Gleichspannung 1199. – 1.9.2 Schaltvorgänge bei Wechselspannung 1201.	
<b>2</b>	<b>Transformatoren und Wandler . . . . .</b>	<b>1201</b>
2.1	Einphasen-Transformatoren . . . . .	1201
	2.1.1 Wirkungsweise und Ersatzschaltbild 1201. – 2.1.2 Leerlauf- und Kurzschlussversuch 1202. – 2.1.3 Betriebsverhalten 1202. – 2.1.4 Zeigerdiagramm und komplexe Darstellung 1203. – 2.1.5 Spartransformatoren 1203.	
2.2	Spannungswandler . . . . .	1204
2.3	Stromwandler . . . . .	1204
2.4	Drehstromtransformatoren . . . . .	1204

<b>3</b>	<b>Elektrische Maschinen</b>	1205
3.1	Generator- und Motorbetrieb	1205
3.2	Gleichstrommaschinen	1205
	3.2.1 Aufbau 1205. – 3.2.2 Wirkungsweise 1206. – 3.2.3 Betriebsverhalten 1207.	
3.3	Magnetische Drehfelder in Drehstrommaschinen	1210
3.4	Asynchronmaschinen	1211
	3.4.1 Aufbau 1211. – 3.4.2 Ersatzschaltbild 1211. – 3.4.3 Betriebsverhalten 1212. – 3.4.4 Zeigerdiagramm, Kreisdiagramm 1212. – 3.4.5 Drehzahlsteuerung 1213. – 3.4.6 Kurzschlußläufer 1214. – 3.4.7 Einphasenlauf und Bremsschaltungen 1214. – 3.4.8 Rückgewinnung der Schlupfleistung 1215.	
3.5	Synchronmaschinen	1215
	3.5.1 Aufbau 1215. – 3.5.2 Zeigerdiagramm 1215. – 3.5.3 Betriebsverhalten, Wirk- und Blindleistung 1216. – 3.5.4 Anlauf und Synchronisieren 1216.	
3.6	Drehstromkommutatormaschinen	1216
3.7	Einphasen-Wechselstrom-Motoren	1217
	3.7.1 Kommutator-Motoren 1217. – 3.7.2 Kurzschlußläufer-Motoren 1218.	
3.8	Gemeinsame Kennzeichen elektrischer Maschinen	1219
	3.8.1 Betriebsarten 1219. – 3.8.2 Erwärmung und Isolierstoffklassen 1220. – 3.8.3 Isoliervermögen, Prüfspannungen, Normspannungen 1220. – 3.8.4 Schutzarten 1220. – 3.8.5 Bauformen und Kühlarten 1220. – 3.8.6 Geräusche, Funkenstörung 1221. – 3.8.7 Genormte mechanische Größen 1221. – 3.8.8 Leistungsschilder 1221. – 3.8.9 Wirkungsgrad 1222.	
3.9	Elektromotor und Arbeitsmaschine	1222
	3.9.1 Belastung und Dimensionierung 1222. – 3.9.2 Anlauf unter Last 1222. – 3.9.3 Anlauf mit großen Schwungmassen 1222.	
<b>4</b>	<b>Stromrichter und Verstärker</b>	1223
4.1	Elektrische Ventile	1223
4.2	Stromrichter	1225
	4.2.1 Gleich-, Wechsel- und Umrichter 1225. – 4.2.2 Schaltungen 1225. – 4.2.3 Spannungssteuerung 1226. – 4.2.4 Umkehrstromrichter mit natürlicher Kommutierung 1226. – 4.2.5 Blindstrom 1226. – 4.2.6 Stromrichter mit Zwangskommutierung 1227. – 4.2.7 Einsatz von Stromrichtern 1227. – 4.2.8 Spezielle Bauformen von Thyristoren 1228.	
4.3	Verstärker	1228
	4.3.1 Elektronische Verstärker 1228. – 4.3.2 Magnetische Verstärker 1228.	
<b>5</b>	<b>Energieverteilungsanlagen</b>	1229
5.1	Übertragungsverluste	1229
5.2	Kabel und Leitungen	1229
	5.2.1 Aufbau 1229. – 5.2.2 Belastbarkeit 1229. – 5.2.3 Spannungsabfall 1229.	
5.3	Schaltgeräte	1230
	5.3.1 Hochspannungsschaltgeräte (VDE 0670) 1230. – 5.3.2 Niederspannungsschaltgeräte (VDE 0660) 1230.	
5.4	Schutzeinrichtungen	1231
	5.4.1 Störungsarten in elektrischen Netzen 1231. – 5.4.2 Überstromschutz 1231. – 5.4.3 Kurzschlußschutz 1231. – 5.4.4 Schmelzsicherungen 1231. – 5.4.5 Berechnung der Kurzschlußströme (VDE 0102) 1231. – 5.4.6 Selektiver Netzschutz 1232. – 5.4.7 Überspannungsschutz 1233. – 5.4.8 Berührungsschutz 1233.	
<b>6</b>	<b>Elektrowärme</b>	1234
6.1	Widerstandserwärmung	1234
6.2	Lichtbogen-Erwärmung	1234
	6.2.1 Lichtbogenofen 1234. – 6.2.2 Lichtbogen-Schweißen 1235.	
6.3	Induktive Erwärmung	1235
	6.3.1 Stromverdrängung, Eindringtiefe 1235. – 6.3.2 Aufwölbung der Oberfläche und Bewegungen im Schmelzgut 1235. – 6.3.3 Oberflächenerwärmung 1236. – 6.3.4 Stromversorgung 1236.	
6.4	Dielektrische Erwärmung	1236
<b>V</b>	<b>Meßtechnik</b>	
<b>I</b>	<b>Grundbegriffe</b>	1239
1.1	Messen	1239
	1.1.1 Grunddefinitionen 1239. – 1.1.2 Meßverfahren 1239.	
1.2	Meßfehler	1240
	1.2.1 Darstellung der Meßfehler 1240. – 1.2.2 Fehlerfortpflanzung 1240.	

1.3	Besondere Verfahren . . . . .	1240
	1.3.1 Zählen 1240. – 1.3.2 Prüfen 1241. – 1.3.3 Klassieren, Sortieren, Dosieren 1241. – 1.3.4 Kalibrieren, Eichen, Justieren 1242.	
<b>2</b>	<b>Elektrische und elektronische Hilfsmittel, Meßgrößenumformung</b> . . . . .	1242
2.1	Meßgrößenumformung . . . . .	1242
	2.1.1 Meßfühler 1242. – 2.1.2 Thermische Größen 1246.	
2.2	Meßgrößenumformer und Verstärker . . . . .	1248
	2.2.1 Signale zur Meßwertübertragung 1248. – 2.2.2 Verstärker für elektrische Größen 1248.	
2.3	Meßwerterfassung . . . . .	1249
	2.3.1 Analog-Instrumente 1249. – 2.3.2 Digitalinstrumente 1250. – 2.3.3 Oszillographen 1250. – 2.3.4 Schreiber und Drucker 1251.	
<b>3</b>	<b>Maschinentechnische Messungen</b> . . . . .	1252
3.1	Druck und Flüssigkeitsstand . . . . .	1252
	3.1.1 Manometer und Barometer 1252. – 3.1.2 Indikatoren 1252.	
3.2	Menge, Geschwindigkeit und Durchfluß . . . . .	1253
	3.2.1 Wägung 1253. – 3.2.2 Volumen- und Geschwindigkeitsmessung 1253. – 3.2.3 Staugeräte 1254. – 3.2.4 Drosselgeräte 1254. – 3.2.5 Massendurchflußmesser 1256.	
3.3	Kraft, Drehmoment und Drehzahl . . . . .	1256
	3.3.1 Kraftmessung 1256. – 3.3.2 Drehmomentmessung 1256. – 3.3.3 Drehzahl 1257.	
3.4	Temperatur, Feuchte und Wärmestrom . . . . .	1257
	3.4.1 Temperaturmessung 1257. – 3.4.2 Feuchtemessung 1258. – 3.4.3 Kalorimeter 1259. – 3.4.4 Wärmestrommessung 1259.	
3.5	Abgasanalyse . . . . .	1259
	3.5.1 Chemische Verfahren 1259. – 3.5.2 Physikalische Verfahren 1260.	
3.6	Schallmessungen und Schwingungsmessungen . . . . .	1261
	3.6.1 Schallmessungen 1261. – 3.6.2 Schwingungsmessung 1261.	
<b>4</b>	<b>Fertigungstechnische Messungen</b> . . . . .	1262
4.1	Längen- und Winkelmessung . . . . .	1262
4.2	Oberflächenmessung . . . . .	1263
4.3	Gewindemessungen . . . . .	1264
	4.3.1 Gewindelehre 1264. – 4.3.2 Messung des Außendurchmessers 1264. – 4.3.3 Messung des Kerndurchmessers 1265. – 4.3.4 Messung des Flankendurchmessers 1265. – 4.3.5 Messung der Steigung 1265. – 4.3.6 Messung der Teilflankenwinkel 1265.	
4.4	Zahnradmessungen . . . . .	1265
	4.4.1 Verzahnungsfehler 1265. – 4.4.2 Einzelfehlerprüfung 1266. – 4.4.3 Sammelfehlerprüfung 1266.	
<b>W Regelungstechnik</b>		
<b>1</b>	<b>Grundbegriffe</b> . . . . .	1267
<b>2</b>	<b>Übertragungsverhalten</b> . . . . .	1268
2.1	Statisches Verhalten . . . . .	1269
2.2	Übergangsverhalten . . . . .	1269
	2.2.1 Antwortfunktion 1269. – 2.2.2 Proportionales (P-)Verhalten 1269. – 2.2.3 Integrales (I-)Verhalten 1269. – 2.2.4 Differentiales (D-)Verhalten 1269. – 2.2.5 Verzögertes (PT <sub>1</sub> -)Verhalten 1. Ordnung 1270. – 2.2.6 Verzögertes (PT <sub>2</sub> -)Verhalten 2. Ordnung 1270. – 2.2.7 Verzögerungsverhalten höherer Ordnung 1270. – 2.2.8 Totzeit (T <sub>t</sub> -)Verhalten 1270.	
2.3	Frequenzgang . . . . .	1271
	2.3.1 Grundbegriffe des Frequenzgangs 1271. – 2.3.2 Frequenzkennlinien 1272.	
<b>3</b>	<b>Regler</b> . . . . .	1273
3.1	Regler ohne und mit Hilfsenergie . . . . .	1273
3.2	Grundtypen von stetigen Reglern . . . . .	1273
	3.2.1 P-Regler 1273. – 3.2.2 I-Regler 1274. – 3.2.3 PI-Regler 1274. – 3.2.4 PD-Regler 1274. – 3.2.5 PID-Regler 1274.	
3.3	Unstetige Regler . . . . .	1274
<b>4</b>	<b>Grundtypen von Regelstrecken</b> . . . . .	1276
4.1	P-Regelstrecke . . . . .	1276

4.2	Regelstrecke ohne und mit Ausgleich . . . . .	1276
4.3	Regelstrecken höherer Ordnung . . . . .	1277
<b>5</b>	<b>Zusammenwirken von Regler und Regelstrecke</b> . . . . .	<b>1277</b>
5.1	Stabilität des Regelkreises . . . . .	1278
5.2	Übertragungsverhalten des Regelkreises . . . . .	1278
5.3	Anpassung des Reglers an die Regelstrecke . . . . .	1278
5.4	Mittel zur Verbesserung der Regelgüte . . . . .	1279
<b>6</b>	<b>Ausführung von Reglern</b> . . . . .	<b>1279</b>
6.1	Erfassung der Regelgröße . . . . .	1280
6.2	Regelgeräte . . . . .	1280
6.3	Stellantriebe . . . . .	1280
6.4	Ventile und Klappen als Stellglieder . . . . .	1281

## X Elektronische Datenverarbeitung

<b>1</b>	<b>Einführung</b> . . . . .	<b>1283</b>
1.1	Begriffserläuterungen . . . . .	1283
1.2	Analogrechner . . . . .	1283
1.3	Digitalrechner . . . . .	1283
1.4	Hybridrechner . . . . .	1284
1.5	Rechnerkenngrößen . . . . .	1284
<b>2</b>	<b>Analogrechnertechnik</b> . . . . .	<b>1285</b>
2.1	Grundlagen . . . . .	1285
	2.1.1 Rechenelemente und ihre Symbole 1285. – 2.1.2 Koeffizient 1286. – 2.1.3 Operationsverstärker 1286. – 2.1.4 Umkehrer 1286. – 2.1.5 Summierer 1286. – 2.1.6 Integrierer 1287. – 2.1.7 Multiplizierer 1287. – 2.1.8 Funktionsgeber 1288. – 2.1.9 Komperatoren und Schalter 1288. – 2.1.10 Ein- und Ausgabegeräte 1288. – 2.1.11 Die Rechenschaltung 1288. – 2.1.12 Steuerung und Rechenabläufe 1288. – 2.1.13 Grundsätzliches Verfahren der Programmierung 1288.	
2.2	Aufgaben und Anwendungen . . . . .	1289
	2.2.1 Abgrenzung gegenüber Digitalrechnern 1289. – 2.2.2 Typische Anwendungen 1289. – 2.2.3 Spezielle Anwendungen 1292.	
<b>3</b>	<b>Digitalrechnertechnik</b> . . . . .	<b>1294</b>
3.1	Aufbau und Wirkungsweise von Digitalrechnern . . . . .	1294
	3.1.1 Aufbau von Digitalrechnern 1294. – 3.1.2 Informationsverarbeitung im Digitalrechner 1295. – 3.1.3 Zahlendarstellung und arithmetische Operationen 1296. – 3.1.4 Komponenten eines Digitalrechners 1298. – 3.1.5 Architektur von Digitalrechnern 1299. – 3.1.6 Periphere Speicher und E/A-Geräte 1299. – 3.1.7 Betriebssystem 1303. – 3.1.8 Betriebssystemarten 1303.	
3.2	Programmieren digitaler Datenverarbeitungsanlagen . . . . .	1305
	3.2.1 Einteilung von Programmiersprachen 1305. – 3.2.2 Elemente von Programmiersprachen 1305. – 3.2.3 Datenstrukturen 1306. – 3.2.4 Übersetzen einer Programmiersprache 1308. – 3.2.5 Ausgewählte Programmiersprachen 1308. – 3.2.6 Hilfsmittel der Programmierung 1311. – 3.2.7 Methoden der Programmentwicklung 1312. – 3.2.8 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen 1315.	
3.3	Aufgaben und Anwendungen . . . . .	1316
	3.3.1 Berechnungsprogramme 1316. – 3.3.2 Simulationsprogramme 1317. – 3.3.3 Programme zur Informationsspeicherung 1318. – 3.3.4 Programme zur Zeichnungserstellung 1318. – 3.3.5 Programme zur Gestaltung 1320. – 3.3.6 Programme zur Arbeitsplanerstellung und NC-Programmierung 1320. – 3.3.7 Programme zur Prozeßsteuerung 1322.	

## Anhang

A	Mathematik . . . . .	1325
B	Mechanik . . . . .	1335
C	Festigkeitslehre . . . . .	1336
D	Thermodynamik . . . . .	1346
E	Werkstofftechnik . . . . .	1360
F	Grundlagen der Konstruktionstechnik . . . . .	1395

G	Konstruktionselemente . . . . .	1395
H	Ölhydraulik und Pneumatik . . . . .	1412
I	Getriebetechnik . . . . .	1414
K	Thermischer Apparatebau . . . . .	1414
L	Dampferzeugungsanlagen . . . . .	1414
M	Klimatechnik . . . . .	1415
N	Energiewirtschaft . . . . .	1426
O	Maschinendynamik . . . . .	1427
P	Kolbenmaschinen . . . . .	1427
Q	Kraftfahrzeugtechnik . . . . .	1432
R	Strömungsmaschinen . . . . .	1434
S	Fertigungstechnik . . . . .	1435
T	Fördertechnik . . . . .	1438
U	Elektrotechnik . . . . .	1438
V	Meßtechnik . . . . .	1443
W	Regelungstechnik . . . . .	1446
X	Elektronische Datenverarbeitung . . . . .	1448
	Allgemeine Tabellen . . . . .	1450
	<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>1455</b>